

国际信息工程先进技术译丛

WILEY

LTE及LTE-Advanced无线协议

Radio Protocols for LTE and LTE-Advanced

[韩] 尹圣君 (SeungJune Yi)
钱尚达 (SungDuck Chun)
李永代 (YoungDae Lee)
白尚俊 (SungJun Park)
姜尚红 (SungHoon Jung) 著

张鸿涛 等译





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际信息工程先进技术译丛

LTE 及 LTE-Advanced 无线协议

尹圣君（SeungJune Yi）
钱尚达（SungDuck Chun）
［韩］李永代（YoungDae Lee） 著
白尚俊（SungJun Park）
姜尚红（SungHoon Jung）
张鸿涛 等译



机 械 工 业 出 版 社

Radio Protocols for LTE and LTE-Advanced/by SeungJune Yi, et al.
ISBN: 978-1-118-18853-8

北京市版权局著作权合同登记图字：01-2013-2144 号

图书在版编目（CIP）数据

LTE 及 LTE-Advanced 无线协议/(韩) 尹圣君等著；张鸿涛等译.—北京：机械工业出版社，2014.12
(国际信息工程先进技术译丛)
书名原文：Radio Protocols for LTE and LTE-Advanced
ISBN 978-7-111-48428-8

Ⅰ.①L… Ⅱ.①尹…②张… Ⅲ.①无线电通信－移动网－通信协议－研究 Ⅳ.①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 253120 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：朱　林　责任编辑：朱　林
版式设计：霍永明　责任校对：张　薇
封面设计：马精明　责任印制：乔　宇
保定市中画美凯印刷有限公司印刷
2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm · 20 印张 · 419 千字
0001—2500册
标准书号：ISBN 978-7-111-48428-8
定价：99.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
　　　　　　　010-88379203
封面无防伪标均为盗版

网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com

本书系统地介绍了 LTE 及 LTE-Advanced 标准最新进展情况，并阐述了 LTE 层 2/3 的无线协议、LTE-Advanced 的新技术特征。系统阐述了设计原则及 3GPP 标准定义的 LTE 无线协议的功能，也提供了移动网络与移动终端之间互操作的基本知识。本书主要内容包括无线协议（Idle 模式过程、RRC、PDCP、PLC、MAC 等）和 LTE-Advanced 新技术特征（VoLTE、HeNB、PWS、MBMS、CA、Relay、MDT、eICIC、MTC）等。

本书是一部紧跟通信技术前沿研究的专业性著作，主要适于移动通信领域的研究人员和工程技术人员阅读，也可以作为通信工程及相关专业的高年级本科生、研究生和教师的专业性新技术参考书。

译 者 序

LTE（Long Term Evolution，长期演进）成了移动产业的热点，因为它是目前市场上最具有潜力的技术。对那些运营 GSM（Global System for Mobile Communications，全球移动通信系统）/UMTS（Universal Mobile Telecommunication System，通用移动通信系统）的移动运营商，LTE 自然而然成为它们将来网络的选择。从这层意义上来说，LTE 是一种真正意义上的全球移动通信系统，它将几乎覆盖全世界。目前，超过两百家移动运营商正在计划或者已经应用了 LTE 系统。

与此同时，LTE 在继续演进，经历了 Release 9 对 Release 8 的关键技术进行增强以及 Release 10 全面满足 ITU（International Telecommunication Union，国际电信联盟）所定义的第四代移动通信（Fourth Generation，4G）的所有需求，3GPP（Third Generation Partnership Project，第三代合作伙伴计划）现在已开始着手 Release 11/12 的工作。

本书最主要的目的就是为了帮助读者全面了解 LTE 无线协议。通过解释有关用户数据传送和控制信令是如何通过无线协议在终端和网络中进行交互，在本书第 1 ~6 章分析 LTE R8 版本（Release 8，Rel-8）协议细节，本书第 7 ~ 16 章分析了 LTE-Advanced R9/10 版本（Releases 9/10，Rel-9/10）中提出的改进技术和服务，并配合实用的图表，进一步深入理解 LTE 无线协议。

本书的独特价值在于能够使读者获得深度理解，特别是对于 LTE 系统中的无线协议。大部分其他关于 LTE 的书主要把重点放在物理层方面，而这本书不同之处在于将重点放在提供充足的 LTE 系统无线协议方面的知识。同时这本书的价值也在于对先进的长期演进（LTE-Advanced，LTE-A）的重点突出介绍。本书中大多数关于 LTE 无线协议最新的议题和技术都通过丰富多彩的实例来解释，以帮助读者理解。

本书是专门介绍 LTE 及 LTE-Advanced 无线协议的著作，阐述了 LTE 层 2/3 的无线协议，也是首个基于3GPP LTE R10 标准的出版物，介绍了 LTE-Advanced 的新技术特征。系统阐述了设计原则及 3GPP 标准定义的 LTE 无线协议的功能，也提供了移动网络与移动终端之间互操作的基本知识。

第 1 章介绍了 LTE 综述及 LTE 演进过程，LTE 架构、市场及技术需求等。

第 2 ~6 章深入讨论了 LTE 无线协议。从端到端通信的观点来说，无线协议使用户享受 LTE 的服务变得可行。例如，连接协议、移动性管理、广播资源管理以及在移动端和网络之间用户数据传送都是由无线协议所控制。本书给出了完整的

LTE协议结构描述，涵盖整个网络体系架构，着重于描述设计原理和相应方法。无线协议主要涵盖：Idle模式过程、RRC（Radio Resource Control）、PDCP（Packet Data Convergence Protocol）、RLC（Radio Link Control）、MAC（Medium Access Control）等。

第7章介绍了LTE-Advanced概要性技术特征综述。

第8~16章专门阐述了LTE-Advanced新技术特征，特别是一些有前景的技术细节，例如：VoLTE（Voice over LTE）、HeNB（Home eNB）、PWS（Public Warning System）、MBMS（Multimedia Broadcast/Multicast Service）、CA（Carrier Aggregation）、Relay、MDT（Minimization of Driving Test）、eICIC（Enhanced Inter-Cell Interference Coordination）、MTC（Machine Type Communication）等。

本书是移动产业界工程师的理想读物，读者对象可以涵盖研究、开发、系统设计、网络运营等移动通信领域的相关从业人员。无线通信工程及相关专业的高年级本科生、研究生和教师也可将本书作为参考书籍。

本书译者长期从事未来移动通信网络研究工作，具有丰富的理论基础和实践经验。本书主要由北京邮电大学张鸿涛翻译，杨梓华、姜晶、叶云帆、孟娜、张霁、胡亚辉、覃毅芳、董然、李午洋、张德育、张一文等参与了部分章节的翻译。全书由张鸿涛统稿和审校。本书得到了国家自然科学基金（61302090）资助。最后，还要感谢机械工业出版社的大力支持和高效工作，使本书能尽早与读者见面。

由于移动通信技术及标准演进日新月异，翻译时间比较仓促，疏漏错误之处在所难免，敬请读者原谅和指正。

译　者

于北京邮电大学

前　言

回溯至2004年，以高速分组接入（High-Speed Packet Access，HSPA）为例的提供高速网络访问的第三代（Third Generation，3G）移动通信系统变得可行。在那个时候，HSPA的引入促使3G通信系统满足了市场需要，并且在多年内保持与其他类似系统的竞争优势。但是，展望未来，多媒体以及无处不在的通信都会得到迅猛发展。为了支持将来的这种通信量的增长同时保持竞争力，许多运营商都强烈意识到需要用一种长远的目光来看待3G通信系统的演进。正是由于这些动机的驱使，第三代合作伙伴计划（Third Generation Partnership Project，3GPP）开始了基于3G系统的LTE制定规范的工作，并最终完成了这项工作，发布了R8版本（Release 8，Rel-8）规范。

高性能智能手机的出现开创了移动产业的新纪元，这也为服务提供商和消费者提供了机遇。智能手机的快速普及促使消费者趋向于那些有丰富多媒体服务的体验，包括移动宽带网络。因此，移动通信量呈现空前的爆炸性增长趋势，常常接近现存移动网络的网络容量，这也给移动运营商带来了强有力的动机，促使他们去追求更加激进的移动网络演变策略。

出于这种考虑，LTE成为了移动产业的中心焦点，因为它是目前市场上最具有潜力的技术。对那些运营全球移动通信系统（Global System for Mobile Communications，GSM）/通用移动通信系统（Universal Mobile Telecommunication System，UMTS）的移动运营商，LTE自然而然成为了他们将来网络的选择，因为LTE是他们生存下去唯一的选择。从这层意义上来说，LTE是一种真正意义上的全球移动通信系统，它将几乎覆盖全世界。目前，超过两百家移动运营商正在计划或者已经应用了LTE系统。

本书的独特价值在于能够使读者获得深度理解，特别是对于LTE系统中的无线协议。大部分其他关于LTE的书主要把重点放在物理层方面，而本书不同之处在于将重点放在提供充足的LTE系统无线协议方面的知识。同时本书的价值也在于对先进的长期演进（LTE-Advanced，LTE-A）的重点突出介绍。本书中大多数关于LTE无线协议最新的议题和技术都通过丰富多彩的实例来解释，以帮助读者更好地理解。

本书的所有作者都曾活跃在涉及3GPP中无线协议标准的领域。他们的专业知识已经在他们对UMTS、HSPA、LTE以及LTE-A系统的发展中做出的积极贡献中得到了证明。这些专家站在一个完美的位置带着读者前进，不仅向读者解释了LTE

是如何工作的，而且解释了为什么这些系统被设计成这样。此外，这些作者目前正在参与 LTE-A 的标准化工作；因此，读者也能够在本书中了解关于 LTE-A 的主要议题、改善方向以及一些细节问题。

本书的出版对那些想理解 LTE 是如何真正工作的人来说，是一个福音。因为这本书内容组织非常有条理，它能够指引读者对 LTE 无线协议的各个方面，包括设计原则、架构以及功能，达到一种彻底的理解。如果读者已经熟悉了物理层或者 LTE 的核心网络，本书同样为他们提供了一个扩展知识面的机会，读者最终能够对 LTE 系统达到全面的理解。

Takehiro Nakamura
3GPP TSG RAN 主席
NTT DOCOMO 公司

引　言

就在几年前，“无处不在的连接”被公认为是无线通信系统的未来。在“无处不在的连接”的时代里，曾有人预计宽带移动网络活动将会变得普遍，而且全球范围内的无缝连接成为可能。服务的质量将保证无论何时/何地/何种方式使用者都能连接；连接甚至扩展到物体之间的通信，不需要人的干涉；所有对象都具有自主通信的能力。

环顾我们如今生活中的一切，那些期望不再是我们想象的将来，而是已经存在的事实——“无处不在的连接”变成了现实。我们生活在这个连接性不断演进的时代。

由于近年来移动通信技术不断的增强，这种演变正在加速。其中最引人注目的技术就是 LTE 系统。众所周知，最初 LTE 规范的发展是在一个空前紧张的时间表内完成的。在这些规范的发展过程中，所有移动商务包括全球移动运营商、网络供应商，以及终端/芯片组供应商，都为标准化的工作进程做出了巨大的努力。作为一个真正的全球移动通信标准，LTE 凭借其在全球范围内的快速增长，被移动生态系统证明为巨大的成功。由于“无处不在的连接”的改革推出，LTE 生态系统取得大规模的成功过程正在加速。

“无处不在的连接”的可能性给服务商提供了新的商业机会。眼光敏锐的读者可能已经意识到 LTE 系统应该被称之为“促成器”，而不仅仅是一个高性能通信系统，它使我们享受到我们所希望的服务。对于移动部门和相关产业的核心成员来说，将 LTE 系统作为一种促成技术来理解是非常重要的。

LTE 系统目前的设计是基于 3GPP 标准化工作流程的结果，其中包含了长期的讨论和决策过程。甚至常常没有一个决策能获得参与标准化流程的公司的一致同意。许多的决策都是在对已获得的收益、成本以及可能带来的复杂性的不断讨论和妥协后得出的结果。

原则上，由于这些规范是这些决策的集合，它们应该被写成一种中立的且不含糊的准则——也就是说，规范仅仅规定了“最低要求”。规范的解释不会超过最低要求，这样可以避免违反中立性的原则。出于这种原因，读者常常会感觉到规范是相当封闭的和不够完全的。

关于 LTE 和 LTE-A 的书在市场都是可以买到的，它们可以提供给读者这些规范的信息补充。但是，当读者浏览这些书时，总是会注意到，这些书的大多数章节都用来解释物理层的操作。如果有所区别的话，只有很小的一部分用来描述工

作在物理层之上的无线协议。对于那些渴望完全理解 LTE 无线协议的读者来说，这是完全不够的。

从端到端通信的观点来说，无线协议做出的重要贡献部分就是它使用户享受 LTE 的服务变得可行。例如，连接协议、移动性管理、广播资源管理以及在移动端和网络之间用户数据传送都是由无线协议所控制。因此，对于渴望看到 LTE 全貌的读者来说，获得 LTE 无线协议精确的知识是相当重要的。

本书最主要的目的就是为了帮助那些渴望了解 LTE 无线协议的读者，通过解释有关用户数据传送和控制信令是如何通过无线协议在终端和网络中进行交互，可以在这本书的前半部分了解 LTE R8 版本（Release 8，Rel-8）协议的细节。在 LTE R9/10 版本（Releases 9/10，Rel-9/10）中提出的改进技术和服务会在书的后半部分提到，并配合实用的图表来帮助读者理解，这样读者对 LTE 无线协议的理解能够得到进一步巩固。应当指出的是，这本书仅仅基于作者们的知识给出了理解 LTE 无线协议的一种指导。对于那些想获得明确信息的读者应该参考由 3GPP 出版的规范。

作者们的原意是希望本书能够指引读者通过结合在这本书提到的 LTE 无线协议和读者在其他地方获得物理层及核心网的知识，来达到对 LTE 系统有一个更加全面的理解。作为 LTE 规范的贡献者，本书作者对目前的 LTE 系统感到欣慰，因为它使得曾经只是幻想的服务成为了可能。需要牢记的是，LTE 系统仍然处在不断演变的过程中，我们坚信本书的及时出版将使得它的读者有可能成为下一代系统的促成者，实现那些他们曾经仅仅只是幻想甚至从未想象过的服务和技术。

SeungJune Yi
SungDuck Chun
YoungDae Lee
SungJun Park
SungHoon Jung

作 者 介 绍

SeungJune Yi，拥有首尔国立大学电子工程学硕士学位，1999 年加入 LG 电子公司，并且自 2000 年以来一直积极参与 3GPP 无线接入网技术规范组（Technical Specification Group Radio Access Network，TSG RAN）的第二工作组的工作，为 UMTS、HSDA、高速上行分组接入（High Speed Uplink Packet Access，HSUPA）、多媒体广播多播服务（Multimedia Broadcast Multicast Service，MBMS）、LTE 以及 LTE-A 贡献了许多的专利。他作为 LG 电子公司无线协议标准化团队的组长也参加了 3GPP TSG RAN 全体会议。从 2008 开始，他成为了 LTE 分组数据汇聚协议（Packet Data Convergence Protocol，PDCP）规范（TS36.323）的记录员，从 2011 年 8 开始，他成为了 RAN WG2 的副主席。他是许多专利的发明者，并获得了 2000 年、2002 年、2008 年的“LG 电子公司年度发明者”奖。在 2009 年，他从韩国知识产权局获得了“专利技术奖”，并在 2010 年被授予“韩国年度发明者”称号，从 2008 年开始，他参与了“LTE：UMTS 的长期演进”这本书“用户平面协议”部分的编写。

SungDuck Chun，拥有麻省理工学院斯隆管理学院的 MBA 学位，首尔国立大学电子工程学理学学士学位。他曾在首尔国立大学移动式通信实验室攻读理科硕士学位。2000 年加入 LG 电子公司，他现在是首席研究工程师，积极参与了 HSDPA、HSUPA、MBMS、LTE 以及 LTE-A 的标准化工作，并为了 3GPP 做出了许多的贡献。由于成功地领导了 LG 电子公司的标准化活动，他被授予“表现优秀个人”称号，并得到了职业发展机会。他也指导过 UMTS 系统和码分多址（Code Division Multiple Access，CDMA）系统移动手持终端的软硬件发展，并参与和咨询过电信运营商的准基点测试。他也参与了“LTE：UMTS 的长期演进”这本书“用户平面协议”部分的编写。

YoungDae Lee，1998 年获得首尔国立大学电子工程学硕士学位，同年加入 LG 电子公司（韩国安阳市），从 1999 起积极参与 3GPP 的工作，并为 3GPP TSG RAN 第一、二、三工作组和 3GPP TSG RAN 全本会议的宽带码分多址的接入（Wideband Code Division Multiple Access，W-CDMA）、HSDA、MBMS、LTE 以及 LTE-A 标准化贡献了许多技术资料。从 2004 ~ 2006 年，他领导了 LG 电子公司的无线协议标准化团队，从 2007 ~ 2010 年，他作为高级标准经理在 LG 电子公司的法国移动分部（位于法国的维勒班特）工作。他也是“在 UTRAN 中改善 MBMS 可行性研究（TS25.905）”的记录员，并作为 MBMS 部分（TS36.300 第 15 节）的编

辑参与了 LTE 第二阶段的规范化工作。2000 年，他被评为“LG 电子公司年度发明者”。从 2008 起，他参与了“LTE：UMTS 的长期演进”这本书“用户平面协议”部分的编写。

SungJun Park，2003 年毕业于韩国汉阳大学，并于 2005 年获得了该学校的计算机科学与工程硕士学位。他目前是 LG 电子公司的一名高级研究工程师，并从 2005 年开始参与 3GPP 标准化的工作。他为 HSUPA、LTE 以及 LTE-A 的工作做出了许多贡献。

SungHoon Jung，拥有韩国科学技术高级研究院电子工程学硕士学位和延世大学的理学学士学位。2007 年他加入 LG 电子公司，现在是一名高级研究工程师。他积极参与了 3GPP TSG RAN 第二工作组 LTE 和 LTE-A 无线协议的标准化工作。他的研究焦点贯穿各种各样的议题，包括无线资源控制、移动性管理、网络性能优化、家庭基站、LTE 上的话音业务以及异构网络的各种技术。

目　　录

第1章　简　　介

最近这些年，在无线通信体验方面，世界已发生了许多变化。几年之前，当我们谈到无线蜂窝式通信时，常常想到的是通过一个手持设备进行语音服务或者通过短信服务进行文本交流。但是，随着智能手机和平板电脑的广泛应用，人们开始看到了在语音和短信服务之上更多的可能性。现在无论何时、何地，人们都能够随时连接网络接收最新的信息，比如最新的新闻、气象信息、股票价格行情、交通信息和地图数据等等。访问网络应用服务数量正在迅速增长，应用服务需要的带宽也在迅速增长，因此无线通信系统不仅需要提供简单的网络连接，而且还要提供宽带体验。

1.1　3GPP

3GPP 是第三代合作伙伴项目的首字母缩写，它起源于全球移动通信系统（GSM）。顾名思义，3GPP 的原来工作范畴是为 3G（Third Generation，第三代）无线网络系统提供技术规范。预期的 3G 无线网络系统是从原有的 GSM 系统演变而来的，预期系统中的许多功能和网络元素都将采用原来 GSM 系统中的。最终，3GPP 的范畴扩展了，进一步包括为 GSM 技术规范的进行维护和发展。

3GPP 是一个全球范围内的实体组织，它由多个合作伙伴组成，它的目标是制定一个被全球采用的无线通信标准。GSM 是第二代无线系统之一，同时也是多个国家的多个公司共同协调的结果。但是，由于 GSM 的标准化及发展活动最初在欧洲受到限制，因此 GSM 不能被称之为真正意义的全球标准。实际上，在第二代无线系统发展的时间表中，在不同的地理区域内，他们都为无线通信系统的标准化和发展做出了一些努力，这也导致多种标准化的形成，例如 IS-95、GSM、PDC（Personal Digital Cellular，个人数字蜂窝）等等。为了形成一种被世界大多数国家所采用的无线通信标准，在同一种框架下包含所有区域标准实体是很有必要的。制定全球无线电通信标准的目的是使人们出行到任何地方都能更容易地获得持续可用的无线网络服务。同时，它也会促进无线手机和设备朝着更简单和廉价的方向发展。带着这些初衷，通过尽可能多地涵盖各个区域标准开发组织（Standards Development Organizations，SDO），由此形成发展为 3GPP 这样一个统一的通信标准化组织。

下面是参与 3GPP 的一些标准化发展组织：

1）日本无线电产业协会（Association of Radio Industries and Business，ARIB）：它是 1995 于日本邮电部特许成立的公共事业公司。它的主要职能就是引导无线电系统的调查、研究和发展。

2）世界无线电解决方案联盟（Alliance for Telecommunications Industry Solution，

ATIS)：这个标准化组织包含了超过 200 家运营在北美的公司，并被美国国家标准协会所认可。

3）中国通信标准化协会（China Communications Standard Association，CCSA)：这个标准化组织是在工业和信息化部（原信息产业部）的批准下，于 2002 年在民政部注册成立的。

4）欧洲电信标准协会（European Telecommunications Standards Institute，ETSI)：它是欧洲电信产业的一个标准化组织，有 700 多个成员，于 1977 年由欧洲邮电管理委员会创立，并被欧盟委员会官方认可。

5）韩国电信技术协会（Telecommunications Technology Association，TTA)：韩国这个组织于 1988 年根据韩国民法成立，它的主要职能是标准的策划、制定和认证。

6）电信技术委员会（Telecommunication Technology Committee，TTC)：这个标准化组织是由日本内务和通信部成立的，主要是为了研究和发展无线电通信标准。

根据相关结构，3GPP 由项目协调组（Project Co-ordination Group，PCG）和技术规范组（Technical Specification Groups，TSG）组成，如图 1.1 所示。

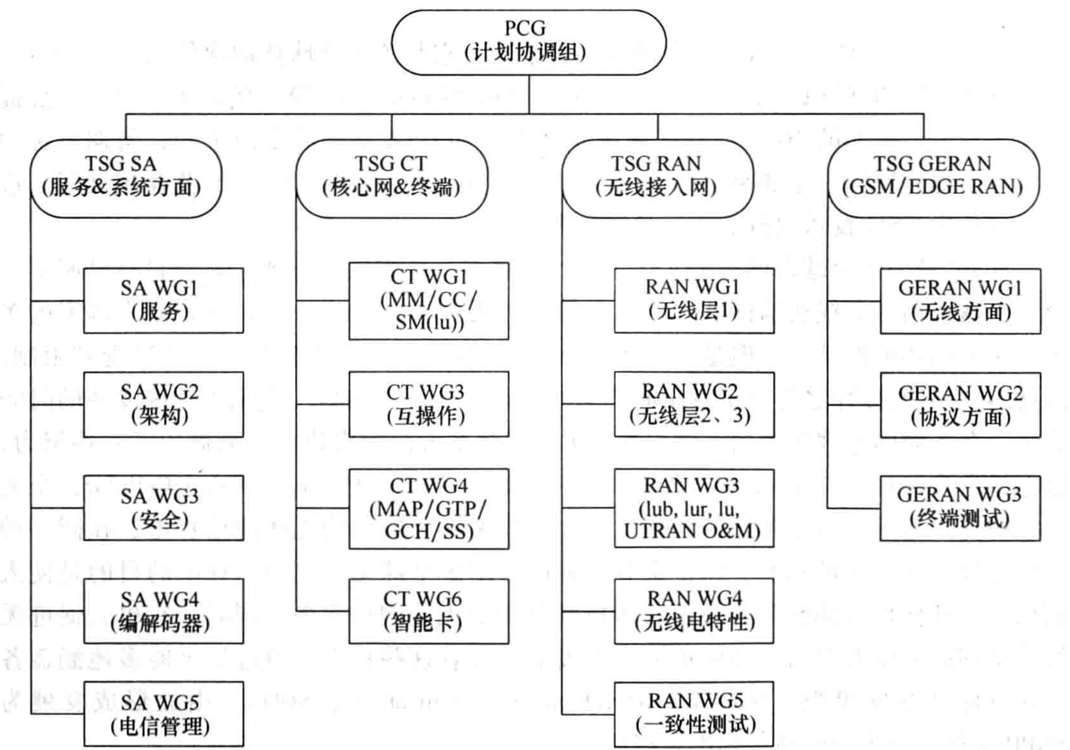


图 1.1　3GPP 工作组结构表

PCG 是 3GPP 的最高决策机构，它的主要职能就是保证 3GPP 规范依照市场需求产生及时的准则。另外，PCG 的职能还包括批准每一个 TSG 工作项目的最终采用，认可所有从属群体的选举结果以及给所有 TSG 分派人员和财务资源。

TSG 负责技术规范的形成，并提交获取批准，同时维护每一个 TSG 的工作领域内的规范，这里有 4 个 TSG：

1）TSG 服务和系统方面（Service and System Aspects，SA）：这个 TSG 决定 3GPP 系统全部的架构、要求、服务能力。这个 TSG 领导其他 TSG。例如，这个 TSG 决定是否支持一项新的服务需要，或者某项服务的要求是什么，或者哪一个工作线应该涉及到标准化工作，并由各个工作组决定他们应该做的。

2）TSG 核心网和终端（Core Network and Terminals，CT）：这个 TSG 决定 3GPP 的终端接口、终端能力以及核心网络部分。TSG 核心网和 TSG 终端合并形成了 TSG 核心网和终端。

3）TSG RAN（Radio Access Network，无线接入网络）：这个 TSG 决定了在频分双工（Frequency Division Duplex，FDD）和时分双工（Time Division Duplex，TDD）模式中全球陆地无线接入网（Universal Terrestrial Radio Access Network，UTRAN）和演进的通用陆地无线接入网络（Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network，E-UTRAN）的功能、需求以及接口。例如，用户设备（User Equipment，UE）和演进型 NodeB（eNodeB，eNB）之间的接口，eNB 之间以及由这个 TSG 所决定的移动管理实体（Mobile Management Entity，MME）和 eNB 之间的接口。

4）TSG GSM/EDGE RAN（GSM/EDGE Radio Access Network，GERAN）：这个 TSG 决定了 GSM/增强数据传输速率 GSM 演进（Enhanced Data rates for GSM Evolution，EDGE）网络的无线电访问部分的规范。GSM/EDGE 核心网络部分规范是在 TSG 核心网和终端内进行管理。

通常标准化的工作是通过在 TSG 全体会议创立研究项目或工程项目来展开的，并且每个季度举行一次。在 TSG 全体会议创立研究项目或工程项目的细节工作是由 TSG 中的每一个工作小组着手完成。每一个工作小组讨论由个人成员所提交的建议，然后达到基本共识的一致意见。对于那些超出每个工作小组专业知识的议题，这个工作小组可以发联络函（Liaison Statement，LS）咨询其他工作小组。然后各个工作小组的建议被送到 TSG 全体会议进行最终裁决。如果这条建议在 TSG 全体会议获得批准，那么它们将被包含到相关的规范中去。

移动能力中心（Mobile Competence Centre，MCC）为制定 3GPP 规范提供了相关支持。它也为 3GPP 会议提供了支持，例如规划会议日程，提供后勤保障，管理会议的 IT 环境等等。

3GPP 的每一条规范都被分配了一个由 5 位数字组成的规范码。规范码的前两个数字叫序列号，表明这条规范所属的区域，表 1.1 中给出了规范序列号。

3GPP 系统的规范已制定发布了各种版本。每一个版本包含的新特性都紧接着规范的先前版本。例如，LTE 规范的 R10 版本（Release 10，Rel-10）包括支持载波聚合，这在 LTE 规范的 R8 版本（Release 8，Rel-8）中是没有的。因此，尽管 3GPP 系统增加了新的功能，但向后兼容性保证它支持低版本的 UE。向后兼容性也意味着低版本的 UE 能够在稍后版本的网络中运行，反之亦然。

表 1.1　3GPP 规范列表

序 列 号	主　　题
21	要求
22	服务方面（阶段 1）
23	技术实现（阶段 2）
24	信令协议（阶段 3）——UE 到网络
25	无线方面
26	编解码器
27	数据
28	信令协议（阶段 3）RSS-CN 与 OAM 与装载
29	信令协议（阶段 3）Intra-Fixed 网络
30	项目管理
31	SIM/USIM，IC Cards，Test Specs
32	OAM&P 和计费
33	安全方面
34	UE and USIM Test Specs
35	安全算法
36	LTE 与 LTE-A 无线技术
37	多无线接入技术方面

1.2　3GPP 系统的演变过程

3GPP 系统是无线通信系统，它的规范是由 3GPP 发展和管理的。3GPP 系统的实例有 GSM、通用分组无线业务（General Packet Radio Service，GPRS），EDGE、通用移动通信系统（UMTS）、高速分组接入（HSPA）、长期演进（LTE）和先进的长期演进（LTE-A）。图 1.2 展示了 3GPP 系统的演进过程。下面章节将简单介绍 3GPP 系统的每一个实例。

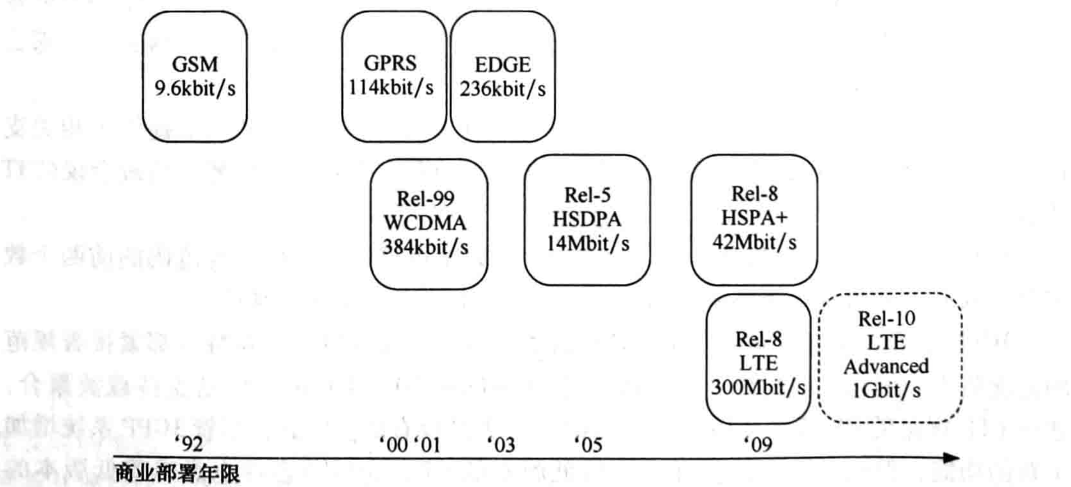


图 1.2　3GPP 系统的演进

1.2.1　GSM

GSM 是 1982 年由最初的 ETSI 发展过来的，第一代 GSM 规范出版于 1990 年，从 1991 年投入商业使用。GSM 是第二代无线通信系统之一，并使用了数字技术作为基线；图 1.3 展示了 GSM 全部的网络架构，与第一代无线通信系统不同，它是基于模拟技术的。从其开发阶段开始，通过让大多数的欧洲国家都采用 GSM，使得 GSM 可以在欧洲被广泛使用并最终扩展到全世界。现在，GSM 的用户占全球人口数量的 80% 以上。

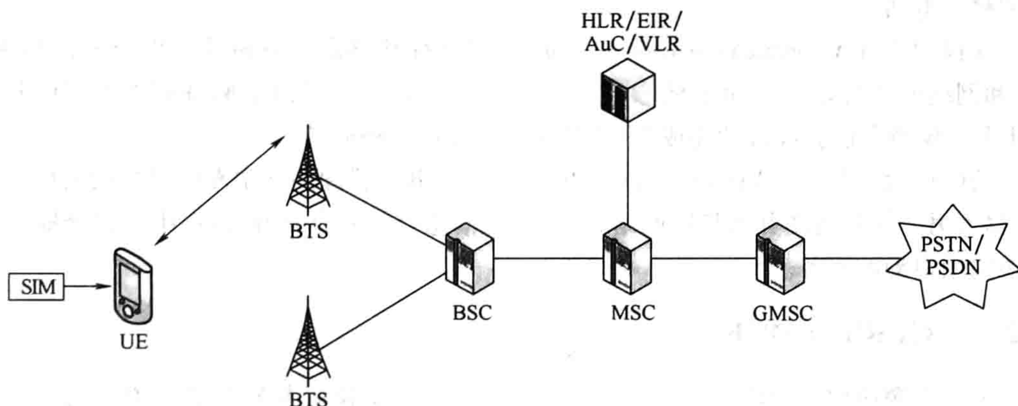


图 1.3　GSM 架构

我们可以将 UE 看作是一部移动电话。它由终端设备、移动终端以及用户身份识别模块组成，其中终端设备包含了对用户的应用和接口，移动终端包含了一个无线通信模块，用户身份识别模块携带了每一个用户的身份识别信息。国际移动用户身份码（International Mobile Subscriber Identity，IMSI）是一种用来识别一个用户的唯一身份，它存在于 GSM 用户识别模块（Subscriber Identity Module，SIM）卡里。国际移动电话设备识别码（International Mobile Equipment Identity，IMEI）是用来区别不同终端的唯一身份。

基站收发台（Base Transceiver Station，BTS）是一个网络节点，它用移动终端以无线方式连接 GSM 的有线网络。因此，BTS 是无线接入网络的边界，并负责发送无线电信号到 UE 或从 UE 接收无线电信号。BTS 完成多路复合或解复合，调制或反调制，加密或解密等工作。而 UE 和 BTS 之间的接口叫作基站子系统和移动台间接口。

基站控制器（Base Station Controller，BSC）是控制 BTS 和管理无线资源的一个网络节点，它负责分派无线电通道和控制 UE 的移动性。在 BSC 和 BTS 之间的接口叫作 A-bis 接口。

移动交换中心（Mobile Switching Center，MSC）是控制建立和释放诸如语音和短信服务（Short Message Service，SMS）全部连接的一个网络节点。它处理来自移动终端呼叫建立的请求，也负责来自陆上通信线的呼叫请求。在 MSC 和 BSC 之间接口叫作 A

接口。

MSC 网关同样也是一个 MSC，它用来连接 MSC 和公共交换电话网（Public Switched Telephone Network，PSTN）。

归宿位置寄存器（Home Location Register，HLR）管理用户的信息，例如 MSISDN、IMSI 信息、UE 的当前位置以及每个 UE 订阅的服务列表。

设备识别寄存器（Equipment Identity Register，EIR）管理与移动电话状态相关的信息，特别是与 IMEI 相关的信息。这些状态信息是用来阻止用户使用非授权的或偷窃得到的移动电话。

鉴权中心（Authentication Center，AuC）管理移动终端的身份验证以及通信加密。UE 和网络的连接是基于协商的参数，AuC 产生的安全密钥用于验证附属在 UE 上的 SIM 卡。仅当身份验证成功完成后，UE 才能够使用各种服务。

访问位置寄存器（Visitor Location Register，VLR）管理网络中漫游用户的名单。当 UE 移入另一个运营商并未订阅网络时，UE 的信息会临时存储在 VLR 中，它会提供这个访问用户漫游服务。

1.2.2 GPRS/EDGE

关于资源使用量的说法，当通话正进行时，电路交换服务要求通信资源的持续分配。因此，通过电路交换网络的服务在某种程度上保证了质量，但是这也同样限制了并发用户数量。语音服务就是一种典型通过电路交换网络的服务。另一方面，分组交换按需求使用通信资源，它能够弹性分配和释放资源，因此它可以最大化资源的利用率。但是，它传送资源的数据有时不能够立即可用，这取决于用户产生的数据量。因特网分组就一种典型的数据通过分组交换网络传送的技术。

GSM 的第一个版本只有电路交换技术的服务，例如语音和短信服务。为了支持分组交换技术的服务，如因特网分组技术，GSM 增加了包含 GPRS 的部分。图 1.4 展示了 GPRS 全部的网络架构。

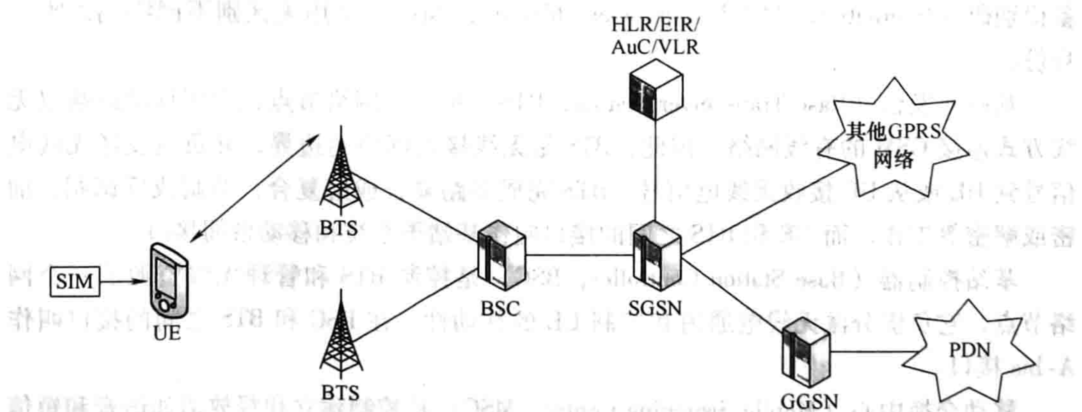


图 1.4 GPRS 架构

为了支持 GPRS，GSM 核心网络进一步增加了用来支持 GPRS 服务和网关的节点，GPRS 服务节点负责分组路由、移动性管理、身份验证等等。GPRS 网关节点负责连接 GPRS 网络到外网。当由 GPRS 网络外部产生的数据包到达 GPRS 网关节点时，GPRS 网关节点捕获这些数据包，并把它们交付给相应的 UE。当这个数据包由 UE 产生时，就通过 BSC 和业务 GPRS 支撑节点（Serving GPRS Support Node，SGSN）交付给网关 GPRS 支撑节点（Gateway GPRS Support Node，GGSN），GGSN 最终将这些数据传送到分组数据网络（Packet Data Network，PDN）之外。

提高 EDGE 的数据传输速率是为了扩展 GSM/GPRS 网络，使之能提供更高速率的数据传输服务。尽管 EDGE 使用了 GPRS 相同的核心网络，但它提供了更高的数据传输速率，可以支持被无线接入网络升级的更高的调制和编码方案。

1.2.3　UMTS

UMTS 是第三代无线通信系统之一。GSM 基于时分多址接入（Time Division Multiple Access，TDMA），而 UMTS 的无线接入部分则是基于宽带码分多址接入（Time Division Multiple Access，WCDMA），它使用了直接序列 CDMA 技术。UMTS 的无线接入网络叫做 UTRAN。因为 UMTS 与 GSM/GPRS 共享相同的核心网，所以它相对于 GSM/GPRS 的主要改变就是在无线接入网络方面。特别是 GSM 网络的 BSC 和 BTS 不能够在 UMTS 中使用，因此在 UMTS 中用 Node B 和无线网络控制器（Radio Network Controller，RNC）代替它们。UTMS 的架构展示在图 1.5 中。

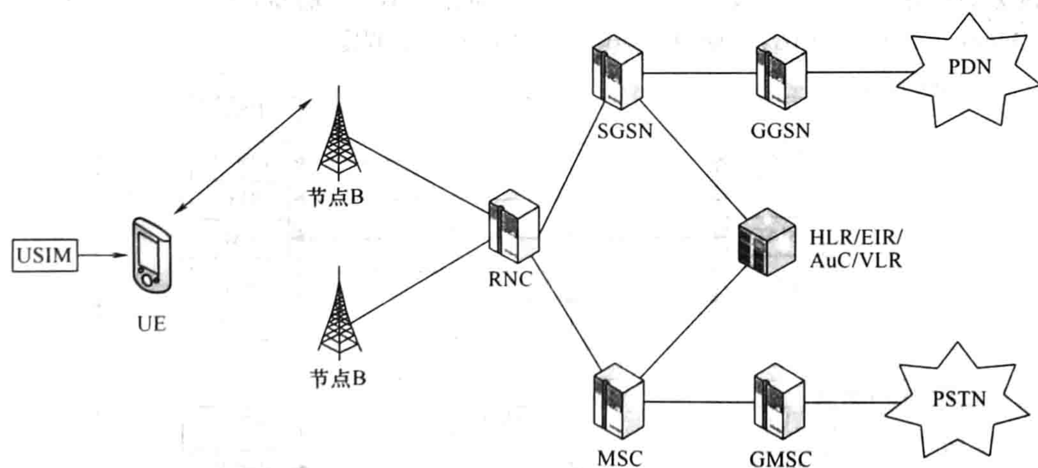


图 1.5　UMTS 架构

UMTS 规范的第一版本叫 R99 版本（Release 99，Rel-99），并在 2000 年 3 月出版。UMTS 的商业服务在 2002 年发行，后来在全世界范围内应用得很成功。

RNC 负责控制无线资源和 UE 的移动性。与 GSM/GPRS 一样，RNC 连接 MSC 也是通过电路交换服务，连接 SGSN 是通过分组交换服务。同时 RNC 也是通过连接无线电基站

来控制。无线电基站负责将无线电信号发送给相应 UE 和接收来自 UE 的无线电信号。

1.2.4 HSPA

UMTS R99 版本（Release 99，Rel-99）也就 UMTS 的第一个版本，提供单个用户最大 384kbit/s 的数据传输速率。为了支持更快的数据传输速率，于是在 R5 版本（Release 5，Rel-5）中引进了 HSDPA。在 R5 版本中，引进了高速下行共享信道（High Speed Downlink Shared CHannel，HS-DSCH）这一新信道，与之一起的还有各种其他技术，例如自适应调制、16 正交幅度调制（Quadrature Amplitude Modulation，QAM）和混合自动重传请求（Hybrid Automatic Repeat reQuet，HARQ），它们能够提供高达 14Mbit/s的数据传输速率。在 R6 版本（Release 6，Rel-6）中，不仅是上行方向速率，下行方向速率也通过 HSUPA 提高了。其中一种新的信道，增强专用信道（Enhanced Dedicated CHannel，E-DCH），被引进到上行数据传输，使之能支持峰值传输速率高达 7Mbit/s。最近，HSDPA 和 HSUPA 已经合并成一个部分，即高速分组接入（HSPA）。

从 R5 版本开始，上下传输数据吞吐量一个版本接一个版本地提高。HSPA 的加强版本叫作 HSPA+。在 HSPA+中，进一步提高传输速率的技术，如 64QAM、多输入多输出（Multiple-Input Multiple-Output，MIMO）以及多种媒介，使之能够支持传输速率高达 84Mbit/s。

图 1.6 展示了 R99 版本（Release 99，Rel-99）专用传输信道（Dedicated Channel，DCH）和 R5 版本 HS-DSCH 在终端协议的不同。相对而言，R5 版本 HS-DSCH 在高速调度方面更好。因为在无线电基站里出现一种叫作 MAC-hs 的新媒体介入控制（Medium Access Control，MAC），使得它能够执行 UE 的动态调度。

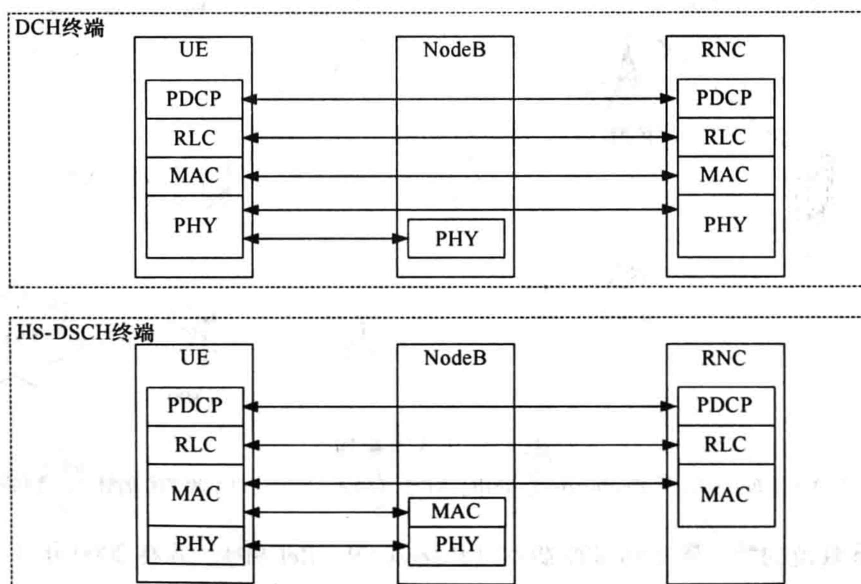


图 1.6 DCH 终端协议（Release 99）和 HS-DSCH 终端协议（Release 5）

1.2.5 LTE

LTE是由UMTS演进而来，也是3GPP系统演进路径的最新延伸。LTE的研究最先开始于2004年，在那个时候LTE实际就一个工作项目，这个工作项目的焦点就是UMTS的潜在演变。但是，由于许多人喜欢LTE这个简单的名字，因此它逐渐变成了一种新无线通信系统的产品名称。

LTE中的无线接入网络叫作U-UTRAN，这是为了区别于UMTS的UTRAN。当3GPP的无线接入网络由GSM升级到UMTS时，在核心网中其实并没有许多改变。但是，当无线接入网络由UMTS升级到LTE时，核心网络进行了加强。旨在加强核心网架构的标准化工作叫作系统架构演进（System Architecture Evolution，SAE），而进化后的核心网叫作演进型分组核心（Evolved Packet Core，EPC）网。SAE是基于全IP的网络，不仅支持3GPP的无线接入网，也支持非3GPP的无线接入网的其他网络，例如全球微波互联接入（Worldwide Interoperability for Microwave Access，WIMAX）和CDMA2000。EPC支持非3GPP的无线接入网使得以前那些没有采用3GPP的无线接入网的运营商采用LTE作为它们将来的无线接入网选择。而演进型分组系统（Evolved Packet System，EPS）实际上就是E-UTRAN和EPC两者的结合。

LTE规范从R8版本（Release 8，Rel-8）开始定义。LTE R8版本是LTE标准化的第一个版本，它包括作为无线系统执行一些重要的基本功能。在LTE R9版本（Release 9，Rel-9）的一个主要添加就是多媒体广播多播服务（MBMS），它主要用来为LTE提供广播和多播服务。在LTE R10版本（Release 10，Rel-10）的主要新特性是对载波聚合（Carrier Aggregation，CA）、中继技术以及机器模式通信（Machine Type Communication，MTC）的支持。CA主要涉及使用多个LTE载波来提供更高的数据传输速率；中继技术用来增强LTE的覆盖；MTC用来支持多种机器类型设备的访问。自2012年2月起，LTE R11版本（Release 11，Rel-11）的标准化已开始进行，LTE R11版本的主要工作是CA和MBMS增强。

1.3 市场趋势

在韩国，从2009年中期到2010年中期，三大无线电通信运营商的移动数据流量分别增长了344%、232%、114%。其中一家运营商预测移动数据流量将会出现49倍的增长。无独有偶，日本的运营商同样预测到2012年移动数据流量将会有15倍的巨大增长或者预期每年将递增60%。这不是一个区域趋势而是出现在全球范围内的一种趋势。因此，对当今的电信运营商来说，时下最要紧的议题就是如何应付移动数据流量的爆炸性增长。

最近的研究表明智能手机仅占全球手机的13%，但这些智能手机却占了全球手机数据流量的78%以上。从这个简单的事实中可以预见，当所有已存的手机被智能手机所替代时，手机数据流量的需求将是巨大的。而且，更多应用的开发和流行，人均手

机数据流量除原智能手机那块之外也会增长。而视频数据流和视频电话也是手机数据流量增长的另一个因素。

为了适应手机数据流量的增长，正在考虑使用家庭基站（femto）和微微蜂窝（pico）概念的基站的大量密集部署。WiFi 的使用就是用来降低蜂窝网络技术带来的手机数据流量，现今它也已经被广泛使用了。然而，由于人们基本是四处游走的，因此蜂窝网络技术的演变将是一个最热门的议题。

图 1.7 展示了在将来几年手机数据流量的简单评估。从现在开始，无线连接的代表设备就是智能手机和平板电脑。然而，在未来机器对机器（Machine- to- Machine，M2M）类型的通信流量消费将增长。例如，用于公共事业的遥感勘测设备、远程医疗器材、汽车辅助设备都将会有更多的使用。尽管像 M2M 这种新类型的设备和商业领域出现必将会为扩大收益提供新的机会，但从这些设备产生的流量和频繁访问也会给移动通信产业带来挑战。

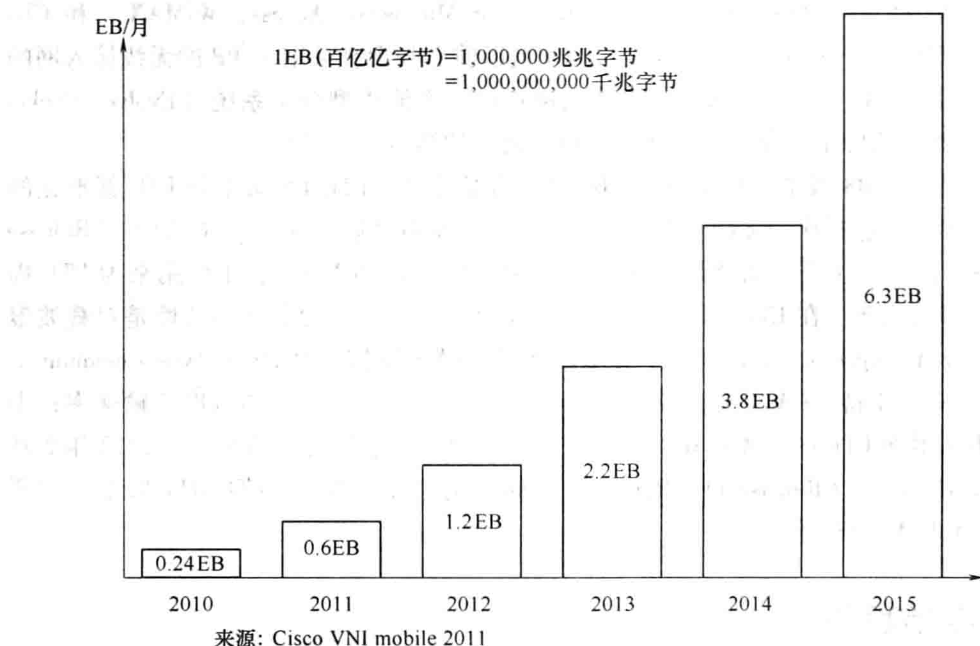


图 1.7 移动数据流量预测

由 Cisco VNI Global Mobile Data Forecast，2011—2016，许可发布，参见本章参考文献［4］。

1.4 LTE 的要求

回到 2004 年 LTE 标准化工作刚开始的时候，移动数据服务的需求还是很低的。在那个时候，没有像要求数据传输速率达到 384kbit/s（后由 UTMS 提供）的杀手级应用。尽管如此，移动产业看到了发展无线系统的需求，因为那个时候已经有了这样一种基本共识，即原定向于语音服务的 UMTS 已不再适应高速数据传输服务。例如，一直以

来的争论就是 OFDM 技术比 CDMA 技术更适应需要更大带宽的高速数据传输服务。在克服快速衰落信道的固有性质方面，OFDM 优于 CDMA。

另外，随着先进的移动终端硬件性能和有线网络的引人注目的增长，通过分组导向服务优化的下一代无线系统成为必需。因为 UMTS 系统必须从一开始就能支持电路交换服务和分组交换服务，但分组交换服务在延时、覆盖范围、网络架构和容量方面已无法优化。与其升级基于已存的架构，还不如重新定义一个全新的系统。实际上，要证明 LTE 研究项目可行，必须保证这个新系统在未来十年具有竞争力。

当 LTE 标准化工作开始时，下面几条是 LTE 系统的主要要求：

1. 支持高速数据传输

1）20MHz 下行带宽的下行峰值数据传输速率为 100Mbit/s。

2）20MHz 上行带宽的上行峰值数据传输速率为 50Mbit/s。

峰值数据传输速率意味着在一个小区内所能提供的单个用户的最大速率。如果在一个小区内所有的资源都分派给这个 UE 且这个 UE 处在好的信道中，那么它可能获得 100Mbit/s 的速率。一个 20MHz 带宽的小区要求的数据传输速率是 100Mbit/s 的，而对拥有更小宽带的小区其数据传输速率要求也成比例降低。

2. 低延时

1）数据包传递延时不少于 5ms；

2）建立连接的延时不少于 100ms。

总之，低延时是用户体验的需求。但是低延时需要终端占更多的能量功耗。例如，我们假设有一网络想发送给 UE 信息。如果网络想减少数据包从网络到 UE 的延时量，那么更长时间段的监视网络的命令对 UE 来说将是有益的。所以说，低延时不一定保证最佳性能。

对于 LTE 的数据包传送延时不超过 5ms 这个要求，在一个好的信道条件下还是能够满足的。也就是说，当网络和 UE 的处理时间减少到最小，5ms 的数据包传送延时应该可以满足，第一次传输总是可以成功完成，并且尽可能快地为数据有效地分配无线资源。当然，前提是 UE 已经连接到网络中且处于活动模式。

在 UE 从 RRC_IDLE 状态转换到 RRC_CONNECTED 状态时，要求建立连接延时不超过 100ms。这个延时换句话说，就是从一个 UE 不能立即传送任何数据包的地方到一个 UE 正在立即准备发送数据包的地方的传输时间。尽管对一个 UE 来说，停留在 RRC_CONNECTED 状态尽可能长，有利于减少时延，但是这需要额外的测量、信令交换以及 UE 的网络管理。因此，一个 UE 停留在 RRC_CONNECTED 状态多长时间同样需要慎重考虑。

3. 大容量

达到 5MHz 带宽的网络使平均每个小区可以支持至少 200 个活动用户。

LTE 预计比 UMTS 拥有更大的容量，并且在给定的无线资源情况下，能支持更多的并发语音服务。另外，分组交换服务其中的一个特征就是它不要求无线资源的连续分配。例如，在 UMTS 中，每个使用电路交换技术服务来进行语音通话的活动用户在

他全部通话过程中都会给其分配一个信道。因此，在UMTS中并发的语音通话用户的数量受到了小区网络中可用信道数量的限制。但是，在LTE中由于无线资源是基于用户需求的动态分配，所以在服务的整个过程中，对一个活动用户来说，并不需要进行连续分配无线资源。这也意味着LTE系统能够支持更多的活动用户。

4. 频谱效率

1）UMTS R6版本（Release 6，Rel-6）HSDPA（高速下行分组接入）下行频谱效率到达4倍；

2）UMTS R6版本（Release 8，Rel-8）HSUPA（高速上行分组接入）上行频谱效率到达3倍。

频谱效率是测量在给定带宽下数据传输多少的一个关键度量标准。商业移动网络下频谱效率的增加显示出数字信号处理技术的进步。在无线电通信的初期阶段，由于硬件和软件性能条件的限制，数字信号有效处理很难达到。而随着高计算能力且低能耗硬件的产生，更多数字信号处理成为可能，同时在有限的无线资源情况下可以传送更多的数据。但是LTE接近最大化频谱效率仅仅是在理论上可以实现。通过高阶调制和MIMO技术，LTE产生了比UMTS R6版本好2~4倍的结果。

5. 移动性支持

1）性能支持速度高达120km/h；

2）连接维护速度高达120km/h，但取决于频带；

3）像UTRAN类似的语音和实时服务质量到达要求支持的速率；

4）在UTRAN/GERAN到E-UTRAN之间的转换时，语音和实时服务中断时间少于300ms。

这样一个案例，当一个用户开车的速度可能达到120km/h，因此在这个场景下LTE应该可以提供更高的性能。但是，这并不意味着LTE不能支持120km/h以上的速度。因为，在世界很多地方都有高铁，它们支持高达300km/h的移动速度是必需的，尽管可能服务的质量并不如低速度时那么好。

LTE和UMTS的一个不同就是切换，在LTE中是硬切换，在UMTS中是软切换。这里硬切换是指在切换过程期间，UE与目标小区建立连接之前，资源小区是不被连接的。换句话，软切换就是指在资源小区是不被连接之前，UE与目标小区建立连接。因此，可能你会认为UMTS提供了更好的语音和实时服务，因为在切换过程中连接没有断开。语音解码器每20ms产生一个语音数据包，所以约200ms的延时并不会对用户体验造成太大影响。因此，尽管LTE系统使用了硬切换的方法，只要硬切换执行得足够快，对用户体验的影响就可以被忽略。

但是，在接入技术间转发从LTE到GSM/UMTS的语音服务需要的中断时间比LTE技术内部切换更长。

6. 覆盖

1）在距离小区中心5km处，性能不应该降低；

2）但在30km之外降低是可以接受的。

从效能的角度来看，小区能够覆盖面积越大越好，因为这样运营商就可以建立更少的基站。但是，当小区覆盖面积变得越大时，它需要支持的用户就更多，这可能使得用户的数据传输服务会很慢。另外，UE离小区中心越远，它就必须使用更多的能量将信号传送到基站，这样会导致更多的能源消耗。另一方面，如果小区能够覆盖的面积太小，那么就会导致更多的切换、UE测量、数据转移中断以及网络节点之间的信令交换。因此，系统设计时，标准合理的小区覆盖半径设想是非常重要的。考虑到农村和城市的环境，LTE系统最佳的小区覆盖半径设想是5km。但是，正如上所述，考虑到高铁高达300km/h的速度，大到30km的小区覆盖半径也应在考虑范围内。

7. 部署

支持从1.25～20MHz不同的频谱带宽。

每个国家和地区都有管理无线电频谱的法规。相应地，然而许多国家使用相同的频率提供LTE服务，但是总会有一些国家使用不同的频率。另外，出于其他商业的、试验性的、军事的、业余爱好的目的，LTE服务带宽分配的数量在每个国家是不同的。因此，为了适应LTE使用不同的带宽和频率，LTE的其中一项要求就是支持不同的频谱带宽。另外，那些原有运营商想升级他们原来的网络到LTE的需求也是应该考虑的。例如，LTE支持1.25MHz是为了方便那些想升级1.25MHz CDMA2000网络到LTE的运营商。

8. 服务

基于分组的架构。

这是LTE最重要一个要求之一，因为LTE的目标就是提供最好的用户体验。而当一个系统必须支持电路交换服务时，它需要静态资源保护功能。这最终会使得最优化分组交换服务变得困难。因为互联网变成了信息分发的主干，使得LTE只支持分组交换服务。

无线系统的基本服务之一就是提供语音服务。实际上，电路交换服务的标准服务案例就是语音服务。因此，要使得只支持分组交换原则的LTE变得有意义，那么LTE就应该成功地支持语音服务。特别是VoIP具有一些特定的特点，例如这种服务每隔一定时间产生语音数据包且这些产生的数据包中有很大一部分用来存放IP或UDP报头信息。这也导致了LTE协议栈包含了一些特定的功能。

1.5　LTE架构的概述

在最开始，LTE用来描述无线电网络，EPC用来描述核心网。无线电网络管理无线电到UE的连接，核心网管理全部的服务。例如，无线接入网传递和接收来自UE的数据，然后执行切换，等等。核心网执行语音通话编码、装载以及与其他网络交互的工作。在这节里，我们会进行SAE和LTE架构的分析。

1.5.1　网络架构

EPC 由分组数据网络网关（PDN Gateway，P-GW）、服务网关（Serving Gateway，S-GW）、归属用户服务器（Home Subscriber Server，HSS）、政策与计费规则功能（Policy and Charging Rules Function，PCRF）以及 MME 组成，如图 1.8 所示。P-GW 是 EPC 最外面的实体，它用来桥接 EPC 的内部节点和外部的因特网。它将 IP 地址分配给 UE 并根据 PCRF 设置的指导原则过滤 IP 数据包。为一个特定用户从数据流中过滤相应 IP 包这个过程叫作 EPS 承载，在这之后，根据针对数据流的特定的服务质量（Quality of Service，QoS）处理机制来处理每一条数据流。例如，P-GW 的过滤会将因特网浏览器和语音流量的数据包分别映射到 3GPP 中不同的承载网络。

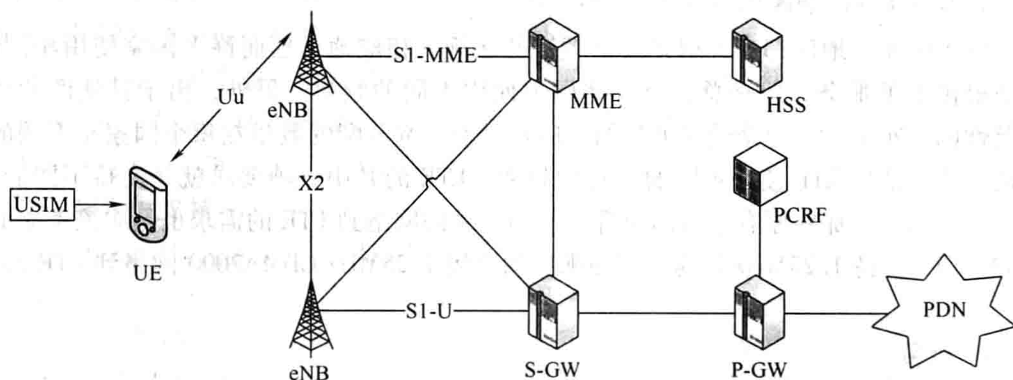


图 1.8　LTE/SAE 架构

S-GW 是 UE 的移动锚节点。一个移动锚节点意味着特定的 UE 数据通过 S-GW 传递，而不用管 eNB 连接到哪个 UE。另外，当 UE 处在 RRC_IDLE 状态中时，从外网来的下行数据包临时缓存在 S-GW，直到 UE 的位置被识别且到 UE 的连接被建立。

HSS 存储和管理用户的特定信息，如签约信息、身份识别信息以及安全信息。

MME 是核心网的中心节点，它用于与 UE 交换信令。MME 执行承载管理，例如建立、修改和释放。另外，MME 也执行移动相关的功能，如用寻呼技术记录 RRC_IDLE 状态下 UE 的位置信息。关于安全方面，MME 执行身份识别过程来检查 UE 的有效性，并分配临时身份给 UE 以提供用户身份保护。为了使 eNB 执行加密和完整性检查，MME 进一步为 eNB 提供了安全密匙。

网络的无线电接入部分仅由 eNB 组成。因为在 UTRAN 中只存在两种网络节点，无线电基站和 RNC，且它们的性能不能够被优化。例如，在 RNC 产生的无线资源控制（Radio Link Control，RLC）分组数据单元（Packet Data Unit，PDU）必须通过 eNB 才能达到 UE。因此，在 RLC 的往返时间很长，这导致了超时重发和较低的数据传输速率。在 LTE 中，通过减少数据传递路径上网络元素的数量，无线资源更有效的使用成为可能。

基本上，eNB 的责任是为 UE 管理无线资源。它建立和释放一个 UE 的无线电承载，在无线电接口上提供相关 QoS，并执行诸如测量和切换过程的移动相关的功能。另外，它还负责传送给用户的无线资源的动态分配和回收。

eNB 通过 S1 接口连接到 MME 和 S-GW。从单个 UE 的角度看，UE 传递到 MME 的信令消息和用户传输到 S-GW 的流量都是通过 eNB。这里，信令消息是一种控制消息，用来提供 UE 的因特网连接。用户应用程序本身所使用的信令消息通过 S-GW 传输。例如，UE 用来更新它的当前位置发送的信令消息将转发给 MME。但是，即时通信服务登录相关系统的信令消息将以 IP 包形式分发给 S-GW，并且该 IP 包对于 eNB 是透明传输的。

S1 接口可以分为 S1-MME 和 S1-U 两类。eNB 到 MME 的接口叫作 S1-MME，eNB 到 S-GW 的接口叫作 S1-U。

S1 接口的主要功能如下：

1）S1 UE 上下文环境管理：功能包括建立、管理和释放用来支持给定 UE 个人信令的 UE 上下文环境。

2）E-RAB 的管理：功能包括建立、管理和释放用于用户数据传递的 E-UTRAN 资源。

3）移动性支持：功能包括用来支持 UE 移动性的内部 LTE 切换，无线接入技术（Radio Access Technology，RAT）间的切换等。

图 1.9 展示了网络中每个节点执行的各种功能。下面给出了每种功能的简单描述。

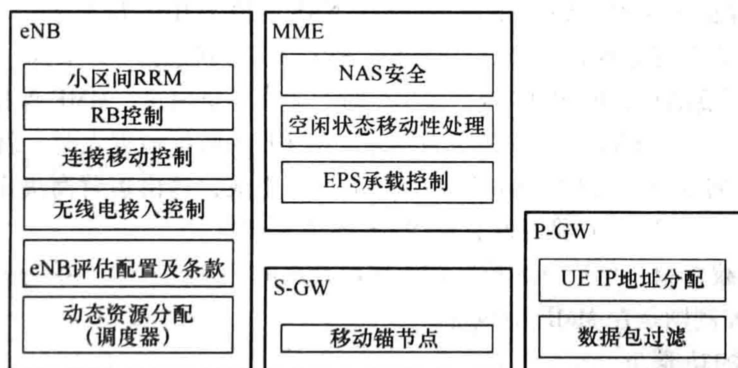


图 1.9　LTE 和 SAE 功能

1. eNB 的功能

1）小区间无线资源管理（Radio Resource Management，RRM）：它是协调 eNB 之间和 eNB 内如何在网络的每个小区中最合理地使用无线资源。因为在 LTE 中，相邻小区使用相同的频率，而一个小区内有用的无线电信号同时对相邻小区来说是冲突的。资源分配和功率调整的冲突协调是这个职能的一个例子。

2）无线承载（Radio Bearer，RB）控制：无线电承载是在无线电接口之上服务提

供的分化单元。eNB 基于每个无线电承载服务的要求来建立、修改和释放无线电承载。

3）连接移动性控制：当 UE 进入 RRC_CONNECTED 状态时，UE 的移动性由 eNB 根据 UE 发送过来的协助信息控制。eNB 决定 UE 连接哪个小区并做出适当的切换决策。考虑到 UE 的性能和相邻小区的拓扑结构，它同时也决定着 UE 的测量配置。

4）无线电接入控制：基于小区的资源使用率和服务资源要求，eNB 决定是否接收一个新的无线资源控制（Radio Resource Control，RRC）连接和一个无线电承载。另外，当小区内资源短缺时，eNB 会进一步决定应该释放哪个 RRC 连接或无线电承载来缓和网络拥塞。

5）eNB 评估配置及条款：为了最优化无线资源的使用率和网络配置，eNB 执行了一系列评估，并将结果提供给运营商或其他控制机构。例如，在无线电接口之上的网络资源使用率或错误信息率的统计将发送给操作管理和维护（Operation Administration and Maintenance，OAM）部门，以用来鉴别网络中错误的区域和节点以及改变的相关参数。

6）动态资源分配：为了最大化无线资源效率，无线资源会基于每个 UE 的需求进行动态分配。资源分配时，无线电信道的状况也会被考虑进去。

2. MME 的功能

1）NAS 安全性：在无线电接口之上，分组数据汇聚协议（PDCP）层提供了加密和完整性保护功能，这样可以保证 E-UTRAN 级别的安全性。除此之外，MME 还提供了额外的安全保证来保护 NAS 层的信令消息，NAS 层位于 RRC 层之上。

2）静止状态下移动性管理：对一个处在 RRC_IDLE 状态的 UE 来说，eNB 没有 UE 的任何上下文环境信息，但 MME 维护着 UE 的上下文环境信息。MME 保持记录在跟踪区域（Tracking Area，TA）中 UE 的位置信息，当 UE 的数据包进入时，就为处于 RRC_IDLE 状态 UE 启动寻呼过程。TA 由至少一个小区组成，这由运营商决定。无论任何时候检测到 TA 的改变，UE 将更新它在 MME 的位置信息。

3）EPS 承载控制：尽管 QoS 控制和无线电承载的管理在 eNB 中执行，但是 EPS 承载和全部 QoS 控制则是在 MME 中执行。

3. S-GW 的功能

移动锚节点：当一个 UE 在 E-UTRAN 内四处移动时，在网络中将存在一个轴心点，用户通过这个轴心点将数据发送或转发到外网。S-GW 作为移动锚节点，当用户数据通过它时不用管 E-UTRAN 内 eNB 或小区内的改变。

4. P-GW 的功能

1）UE IP 地址分配：对一个没有静态 IP 地址的 UE，P-GW 将分派给它一个动态的 IP 地址。

2）分组过滤：当一个 UE 的多个 EPS 承载建立时，P-GW 将根据配置规则将用户数据包划分到适当的 EPS 中。

1.5.2 QoS 架构

QoS 中包括了连接的所有特征，例如延时、交付时间、通吞量、信噪比率、出错率、中断、清晰度和抖动等。这是与用户可能如何评服务以及提供连接服务如何满足用户期望紧密相关的一系列参数。每个参数要求的不同级别对应不同的服务，并且网络能够选择最合适的参数值。QoS 分化的一个简单实例就是 VoIP 和浏览器服务的混合。对 VoIP 服务用户体验来说，数据包较小的损失不是问题，但声音数据的延迟却是一个大问题。为了满足不同服务的要求，用分开的数据流来传输不同服务的数据。为了支持不同的 QoS，每个不同特征的数据流映射不同的承载。因此，承载是 QoS 控制的一个单元，并且一个承载只满足一组 QoS 参数集合。

组成 QoS 设置的标准参数如下：

1）GBR（Guaranteed Bit Rate，保证比特率）：它是 LTE 网络保证的比特率。即使当网络拥塞时，UE 也将以这个比特率服务。

2）MBR（Maximum Bit Rate，最大比特率）：它是提供给承载的最大比特率。当网络有许多用户时，或网络拥塞时，这个速率是达不到的。

3）抖动（Jitter）：即使数据包来自于同一源并且传递到相同的目的地，它们也会以不同的延时程度达到。这个参数显示出数据包在传递延时上的变化。

当一个 UE 最初的注册者本身进入网络，网络和 UE 为分组交换服务建立一个默认 EPS 承载。在那时，UE 所有的数据将使用它进行传输。然后，如果核心网识别到一个分开处理默认承载平面上的特定用户传输数据流的需求，EPC 将建立额外的承载来满足特定数据的特定要求。在这之后，配置网络中的每一个节点以提供承载不同程度要求的处理。

图 1.10 显示了 QoS 条款的全貌。

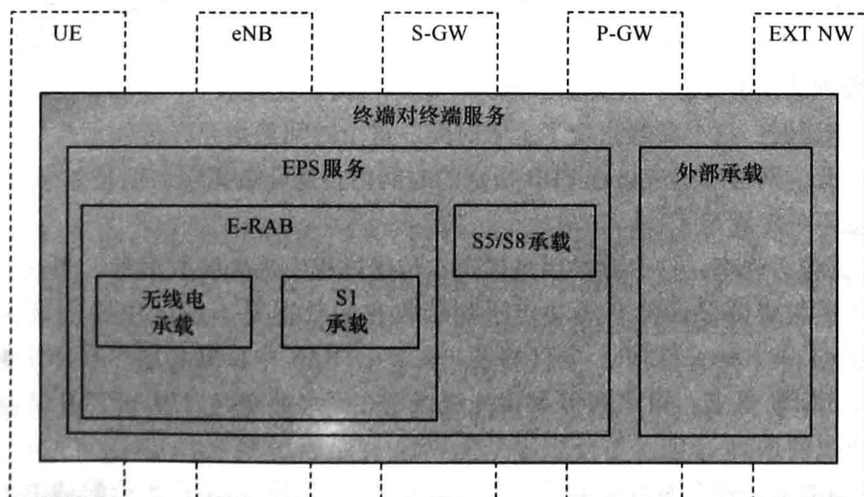


图 1.10 LTE 和 SAE 的 QoS 架构

端到端服务承载用来连接 UE 的应用程序和网络另一边的应用程序。在这个虚拟承载之上的数据传递通过 EPS 承载和外部承载进行，EPS 承载提供了 UE 到 P-GW 之间的交付服务，外部承载提供了 P-GW 和网络另一边服务器之间的连接。当数据达到P-GW 时，P-GW 执行因特网到适当 EPS 承载的数据映射。EPS 承载进一步由 E-UTRAN 、E-RAB 和 S5/S8 承载组成。E-RAB 是 S-GW 和 UE 之间的承载，而 S5/S8 是 eNB 和S-GW 之间的承载。在这些承载中，无线电承载建立在无线电接口之上，而其他承载都建立在有线网络中。

上述所列不同类型的承载，是一种点到点的映射关系。换句话说，在 EPS 和 E-RAB 之间，E-RAB 和无线电承载之间以及无线电承载和 S1 承载之间都有唯一的匹配。从 UE 的角度可以看出，不需要区别 EPS 承载和 E-RAB 承载。就是说，当 UE 通过无线电承载接收来自 eNB 的数据时，UE 仅仅需要知道数据应该转发到哪个 EPS 承载，而不用知道相关的 E-RAB。

在 LTE 中，使用了 QoS 类别标识（QoS Class Identifier，QCI）这个参数。QCI 规定了承载平面上特定的期望处理，即使网络节点由不同的生产厂商开发，相同 QCI 将提供相似的承载处理方式。从运营商观点来看，不用管 UE 连接哪个 eNB。相同类型的服务需要提供相同级别的用户体验。为了保证运营商网络内的所有网络元素都能为了相同的服务提供相同级别的用户体验，QCI 将告诉网络节点给定承载的预期处理类型。基于接收的 QCI 值，每个网络节点都知道它如何处理给定承载。QCI 值在 3GPP 内指出，所以每一个供应商都知道给定 QCI 值的承载预期特征。这些特征包括优先级级别、预期延时、数据包丢失率等。

用下面这些参数来定义 QCI：

1）优先级级别：这个参数是用来决定哪个数据流优先，也用来区分 UE 内流量和 UE 之间的流量。当某个网络节点拥有的所有数据不可能满足数据包延时预算（Packet Delay Budget，PDB）要求时，就使用这个参数。低优先级别的数据会比满足 PDB 要求的高优先级别数据晚处理。优先级级别为 1 意味最高的优先级。

2）预期延时：这个参数指定了上限时间，这个时间是指允许传输承载数据块的上限时间。因此，网络节点应该在 PDB 指定的时间内传送完数据包。但是如果网络拥塞，这个时限就不一定满足了。

3）数据包丢失率：这个参数用来规定在传送过程中丢失的数据量。当这个参数设置时，相关模块应该保证没有成功传送到接收方的数据量不超过数据包错误丢失率（Packet Error Loss Rate，PELR）定义的量。在 E-UTRAN 中，RLC 层和 HARQ 参数的设置需要满足 PELR 要求。相比 PDB 和优先级级别在网络拥塞时启用，PELR 甚至在非拥塞情况也可以使用。

4）资源类型：这个参数用来指示是否需要某一级别的长期资源分配请求。如果这个字段设置为“GBR”，意味着连接的承载必须提供至少某种级别的数据传输速率。典型地，GBR 承载用于传输语音和视频数据服务，这一般要求保证资源的半静态分配。

总之，只要一项使用 GBR 承载的服务产生的数据包不超过配置规定的数据速率传输量，对 GBR 承载来说，PELR 和 PDB 需求将会得到满足。另一方面，对非 GBR 承载，并不保证提供某种级别的数据传输速率。

表 1.2 展示了当前定义在 3GPP 的 QCI 列表。

表 1.2　QCI 列表

QCI	资源类型	优先权	数据包延迟预算	数据错误丢失率	服务示例
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	会话语音
2	GBR	4	150ms	10^{-3}	会话视频（实时流媒体）
3	GBR	3	50ms	10^{-3}	实时游戏
4	GBR	5	300ms	10^{-6}	无会话视频（缓冲流媒体）
5	NON-GBR	1	100ms	10^{-6}	IMS 信令
6	NON-GBR	6	300ms	10^{-6}	视频（缓冲流媒体）基于 TCP 服务
7	NON-GBR	7	100ms	10^{-3}	语音、视频（实时流媒体）交互游戏
8	NON-GBR	8	300ms	10^{-6}	视频（缓冲流媒体）基于 TCP 服务
9	NON-GBR	9	300ms	10^{-6}	视频（缓冲流媒体）基于 TCP 服务

尽管 QCI 是关于携带用户数据的某种承载的数据处理，但是分配和保留优先级（Allocation and Retention Priority，ARP）定义了承载之间的相关优先级。因为无线资源和网络能力受到限制，由网络或 UE 要求的所有承载都不能够建立或保持。因此，在拥塞时，ARP 设置用来决定是否接受一个新的请求或决定释放哪个承载。ARP 由以下几个参数组成：

优先级别：这个参数表明资源请求的相对重要性。基于这个值，网络节点决定是否接收或拒绝承载建立请求。这个参数 1 表示最高优先级，15 表示最低优先级。

优先征购能力：这个参数决定承载的资源数据流是否可以使用其他优先级较低的资源数据流。

优先征购易损性：这个参数决定承载的资源数据流是否可以被其他优先级较高的资源数据流使用。如果这个参数设置为“是”，当资源拥塞问题出现时，在这个承载上的数据可能得不到传递。

1.5.3　LTE 无线协议架构

E-UTRAN 由 eNB 和 UE 组成，eNB 和 UE 之间的接口叫作 Uu 接口。LTE 的广播协议仅包含了 Uu 接口。其中控制平面架构用来传递和交流那些管理 UEs 连接的重要信令消息，用户平面架构用于传递和交流用户或应用程序使用的数据包。

控制平面中涉及的网络节点是 UE、eNB 和 MME 以及展示在图 1.11 中组成控制平面的协议实体。对于 Uu 接口来说，控制平面由物理层（Physical，PHY）、MAC 层、RLC 层、PDCP 层和 RRC 层组成。对 S1-MME 接口来说，流控制传输协议（Stream Control Transmission Protocol，SCTP）和 S1 应用接口协议（S1 Application Protocol，S1AP）用于控制平面。SCTP 用于支持对 S1AP 的信令交换，它由 RFC4960 定义。

组成用户平面的协议实体如图 1.12 所示。对 Uu 接口来说，用户平面由物理层、

MAC 层、RLC 层和 PDCP 层组成。

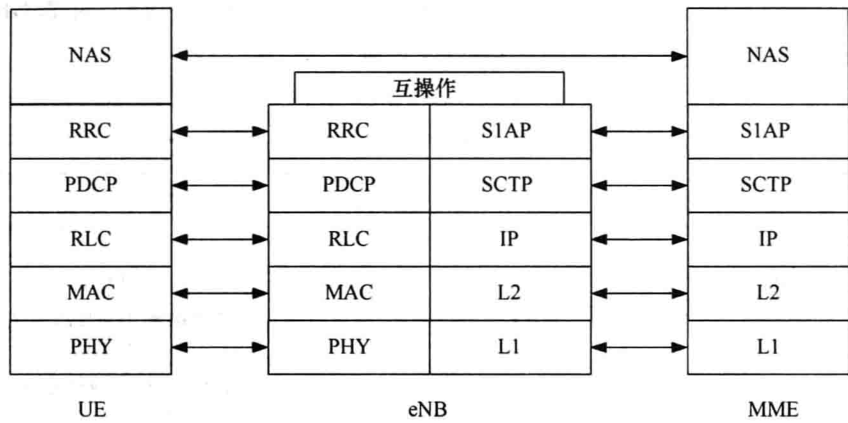


图 1.11 控制平面架构

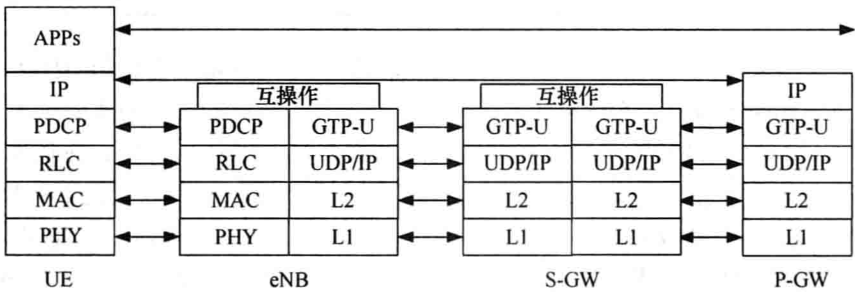


图 1.12 用户平面架构

图 1.13 和图 1.14 有代表性地展示了在 eNB 和 UE 中 MAC 层、RLC 层、PDCP 层执行的功能。下面给出了每个功能的简单描述，包括一些物理层功能。

1. RRC 层

RRC 层负责无线电接口上的无线资源控制。位于 eNB 和 UE 之间的 RRC 层交换信令消息，这些连接消息对于管理 eNB 和 UE 之间的连接来说至关重要。下面是 RRC 执行的功能。

1）连接管理：RRC 层管理 eNB 和 UE 之间 RRC 连接，包括建立、修改和释放。没有 RRC 连接，eNB 和 UE 就无法交流任何信令消息，而这些消息对无线网络内 UE 的正确操作是必要的。

2）无线电承载管理：RRC 层管理 eNB 和 UE 之间的无线电承载，包括建立、修改和释放。无线电承载作为传输用户数据承载的最后一站。当 RRC 层配置和重新配置无线电承载时，它使用相关无线电承载的 QoS 信息来满足在无线电承载数据传输的预期服务要求。

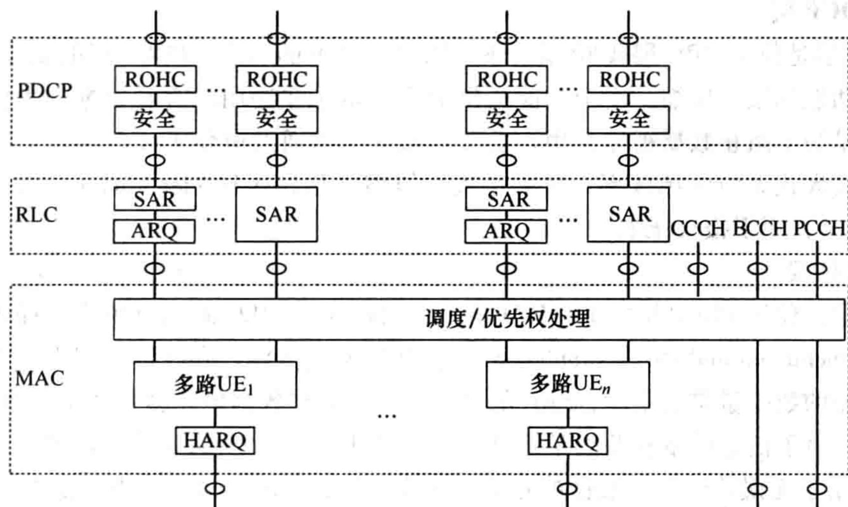


图 1.13 eNB 的综合无线功能

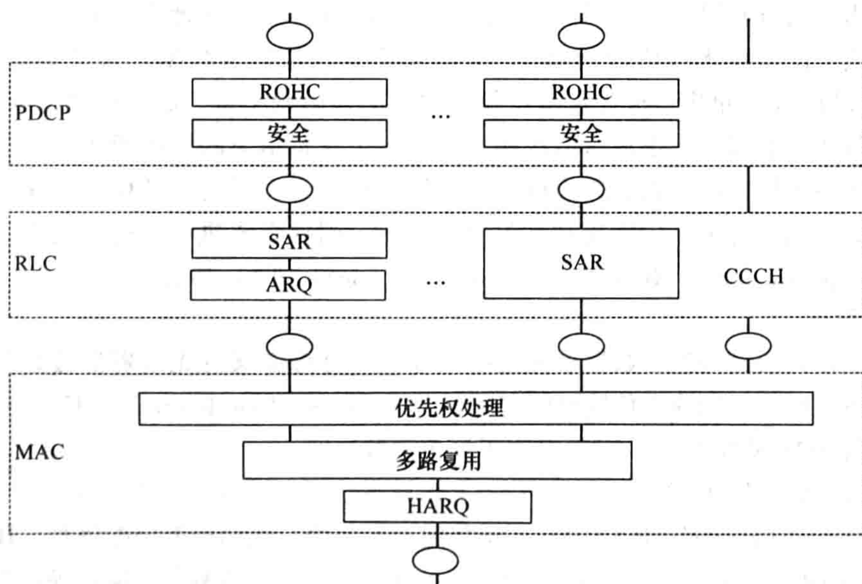


图 1.14 UE 的综合无线功能

3）移动管理：RRC 层控制 UE 的移动性。在考虑小区承载，无线电连接质量和位置等因素后，RRC 层决定用于服务 UE 的最佳小区并做出适当的调整。为了支持这个功能，需要执行测量配置和报告。

4）信令连接：RRC 层提供用于传输上层信令消息的信令承载服务。上层消息实际上是 UE 的上层和 EPC 之间控制信息的交换，其中 EPC 包含了 MME。

2. PDCP 层

PDCP 层是位于 RRC 层或 IP 层之下、RLC 层之上的一层。PDCP 层的职能有两个：进行安全功能和报头压缩。安全功能提供加密来阻止非法用户查看数据，提供完整性评估保护是为了阻止数据被非法用户篡改。报头压缩通过避免无线电接口上冗余信息的传输来最大化无线资源效率。鲁棒性报头压缩（Robust Header Compression，RoHC）由 IETF 定义，用于报头压缩。

3. RLC 层

RLC 层是位于 PDCP 层之下、MAC 层之上的一层。RLC 的主要职能是提供分割和拆卸（Segmentation and Re-assembly，SAR）以及无误传输。在已给时间点无线电接口上能够传输的数据量是受限的，SAR 的功能就是将上层数据单元转化成下层数据单元，反之亦然。由于信道质量较差的信道环境，无线电接口上数据单元传输可能丢失，而 ARQ 则是用于无误传输。当数据单元丢失被检测到，ARQ 会重发数据包以保证无线电接口上的无损传输。另外，由于在较低层中使用多通道 HARQ 功能的使用，在 RLC 层中重排序的功能能够保证数据单元按次序传递。

4. MAC 层

MAC 层位于 RLC 层之下、物理层之上。它的主要职能是控制上层对无线资源的访问。它决定分配多少无线资源给哪个 UE 的哪个逻辑信道的数据。为了实现此功能，MAC 层通过执行缓冲状态报告来指示每个逻辑信道的数据量，通过调度来给每个 UE 分配无线资源，通过优化逻辑信道次序来分配每个逻辑信道的无线资源，通过多路复用或解复用将上层数据单元合并或拆分到下层数据单元，通过 HARQ 来传递无线电接口上的数据单元。为了减少能耗和满足时限要求，同样需要执行不连续接收（Discontinuous Reception，DRX）和时间校准（Time Alignment，TA）功能。

5. 物理层

经过上面几层的处理，数据单元最终被物理层处理并通过无线资源接口传输。时间的标准单位叫做子帧或者传输时间间隔（Transmission Time Interval，TTI）。一个子帧等于 1ms 且 MAC PDU 的传输时机是由子帧单元数决定。

为物理层的实际发送和接收定义了几条物理信道：物理下行控制信道（Physical Downlink Control CHannel，PDCCH）用于传递控制信令，例如资源分配信息，HARQ 确认（Acknowledge，ACK）/否定应答（Negative Acknowledge，NACK）信息等；物理下行共享信道（Physical Downlink Shared CHannel，PDSCH）用于传递在下行方向的上层数据单元；以及物理上行共享信道（Physical Uplink Shared CHannel，PUSCH）用于传递在下行方向的上层数据单元。

1.6 UE 功能

尽管 LTE 系统理论上可以提供 100Mbit/s 的速率，这并不意味着所有的 LTE 终端都能够支持 100Mbit/s 的速率。取决于市场意图和用户部分，每个 LTE 终端的无线电性

能可能不同。为了正确配置无线电参数，eNB 需要知道每个 UE 的无线电性能。例如，如果 UE 拥有 50Mbit/s 的速率，分派相当于 80Mbit/s 的无线资源将导致 UE 缓冲区溢出或无线资源的浪费。

在市场上，将会有成千上万 UE 性能的组合。实际上，如果这种关于不同性能的信息传递到网络，它将出现巨大的信令消耗。为了降低 UE 性能信令的复杂性，定义了 UE 分类的有限集，如表 1.3 所示。在表中的值是 UE 在每个分类中满足的最小需求。当一个 UE 表明它在网络中的分类时，它的性能应该至少到达分类指定的规定值。因此，例如，在分类 3 的 UE 应该能够处理至少 1237238 软信道字节。

表 1.3　UE 分类

UE 类别	类别 1	类别 2	类别 3	类别 4	类别 5
一个 TTI 之内接收到 DL-SCH 传输块的最大值	10 296 (10.3Mbit/s)	51 024 (51Mbit/s)	102 048 (102Mbit/s)	150 752 (150Mbit/s)	299 552 (300Mbit/s)
一个 TTI 之内接收到 DL-SCH 传输块比特的最大值	10 296	51 024	75 376	75 376	149 776
软信道比特总数 DL 中支持空间复用层数的最大值	250 368 1	1 237 248 2	1 237 248 2	1 827 072 2	3 667 200 4
一个 TTI 内传送 UL-SCH 传输块比特的最大值	5 160 (5.1Mbit/s)	25 456 (25Mbit/s)	51 024 (51Mbit/s)	51 024 (51Mbit/s)	75 376 (75Mbit/s)
UL 中 64QAM 支持层 2 缓冲大小总数/B	NO 150 000	NO 700 000	NO 1 400 000	NO 1 900 000	YES 3 500 000

参考文献

1. 3rd Generation Partnership Project, "About 3GPP", available at http://www.3gpp.org/About-3GPP, accessed on 14 March 2012.
2. 3rd Generation Partnership Project, "Specification Groups", available at http://www.3gpp.org/Specification-Groups, accessed on 14 March 2012.
3. 3rd Generation Partnership Project, "LTE", available at http://www.3gpp.org/LTE, accessed on 14 March 2012.
4. Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011–2016", available at http://www.cisco.com, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 23.203, "Policy and charging control architecture (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第 2 章　空闲模式过程

RRC_IDLE 是一种 UE 驻留在某个小区但没有建立任何无线资源控制（RRC）连接的接入层（Access Stratum，AS）状态。一般来说，没有任何 RRC 连接意味着 UE 在小区内没有被网络识别，因为 eNB 没有 UE 的上下文信息。处于 RRC_IDLE 状态下 UE 的位置会在由小区组成的跟踪区内被网络识别。在 RRC_IDLE 状态下 UE 的 AS 行为在本章参考文献［1］中有定义。

使用 RRC_IDLE 的目的是通过提高利用率来减少 UE 能源消耗量。例如，不连续接收。处于 RRC_IDLE 状态的 UE 需要执行的过程数大大地小于在 RRC_CONNECTED 的过程数。例如，处于 RRC_IDLE 状态下的 UE 有时需要被短暂唤醒一段时间去执行某些的过程，比如，虽然监控到即将到来的呼叫请求和移动性测量，但是 UE 很快就被允许再次进入沉睡状态，并在大部分时间中保持非活动状态。在 RRC_IDLE 如此长的非活动状态大大减少了 UE 中电池的耗电量。

当描述处于 RRC_IDLE 状态中的 UE 行为时，常常会使用“预占”这个术语。它是 UE 状态的一种，表示 UE 停留在一个小区并准备开始可能的专用服务或接收正在进行的广播服务。它有以下几个目的：

1）对占用的小区系统信息的接收（见 3.2 节）；

2）必要时在占用的小区上启动 RRC 连接建立（见 3.4 节）；

3）在占用的小区上用于移动终端请求的寻呼信息的接收（见 2.9～3.3 节）；

4）公共警报系统（Public Warning System，PWS）通告的接收（见 10.4 节）。

2.1　空闲模式功能

在这节里，我们将简单地浏览在 RRC_IDLE 状态下执行的过程，随后的章节将详细描述每个过程的细节。

一旦一个 UE 开启，它会执行 PLMN 选择过程。这个选定的 PLMN 可能与无线电接入技术有关。2.4 节中描述了 PLMN 选择过程。

一旦 PLMN 被选定，为了选择适当的预占小区，小区选择过程随之进行。小区选择过程在 2.6 节进行了概述。

在成功进行小区选择后，UE 会尝试通过执行在 NAS 层的附加过程在 MME 中注册。如果注册成功，UE 甚至能处于 RRC_IDLE 状态下被网络识别。位置注册过程会在 2.5 节中进行详解。

当 UE 处在 RRC_IDLE 状态时，由于移动性和网络策略的改变，它可能选择另一个

小区。小区重选过程细节会在 2.7 节给出。

当 UE 欲预占小区时，它必须评估自己是否被允许访问这个小区。访问认证过程将会在 2.8 节中进行描述。

处于 RRC_IDLE 状态下的 UE 需要监视寻呼信息以接收来电请求。寻呼过程将会在 2.9 节中进行描述。

当在小区中等待时，UE 需要监视系统信息的变化并获得新的系统信息以保证这是最新信息。系统信息的处理将会在 3.2 节中进行描述。

UE 可能支持闭合用户组（Closed Subscriber Group，CSG）相关功能。CSG 相关功能特征会在第 9 章给出。

UE 同样可能在 RRC_IDLE 状态下接收 PWS 信息。PWS 将会在第 10 章中进行描述。

UE 同样可能在 RRC_IDLE 状态下接收多媒体广播多播服务（MBMSs）。LTE 上的 MBMSs 将会在第 11 章中进行描述。

UE 可能通过注册 MDT 配置来辅助网络性能优化。注册 MDT 将会在 14.2 节中进行解释。

在 RRC_IDLE 状态下执行的过程总结在表 2.1 中。这些过程的主要功能是 PLMN 选择、小区选择和重选、位置注册和 CSG 支持，如图 2.1 所示。其他过程为主要功能提供辅助功能或提供附加业务服务。

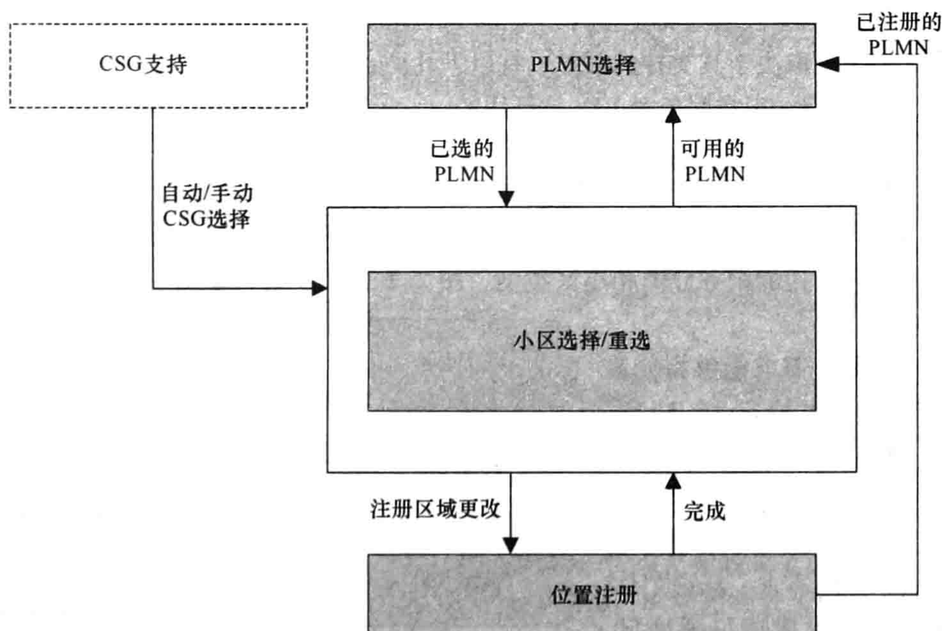


图 2.1　主要的 RRC_IDLE 进程

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

表2.1 RRC_IDLE过程

RRC_ IDLE过程	目　的
PLMN选择	选定了可供正常服务的PLMN
注册	UE在网络上注册位置
小区选择	UE找到一个可注册的合适小区
小区重选	UE找到一个更好的小区
接入认证	UE被禁止接入未被允许的小区
寻呼接受	UE接收移动终止呼叫
系统信息获取	UE获取需要配置来获取服务的普通的信息
CSG支持	UE如果是CSG成员，则从CSG小区获取优先服务
PWS支持	UE接收PWS消息
MBMS支持	UE接收MBMS
MDT日志支持	UE收集测量值和报告来协助网络性能优化

2.2 服务和小区分类

提供给UE的服务可以分为以下几类：

1）正常服务：正常情况下的公共服务；

2）有限服务：应急服务（紧急呼叫和PWS消息）；

3）运营商服务：具有特定接入权限的UEs的服务。

小区的分类取决于其支持的服务，有以下几类：

1）合适小区：正常服务对UEs是可用的；

2）可接收小区：只提供有限的服务；

3）禁止小区：服务不可用，禁止访问小区；

4）保留小区：提供给具有特定接入权限的UEs的正常服务。

结合上述描述的服务分类和小区类型，图2.2总结了每种服务分类和小区类型之间的联系。

取决于哪个需求能够得到满足，小区类型由特定UE决定。相应地，相同小区不同类型对应不同的UE。

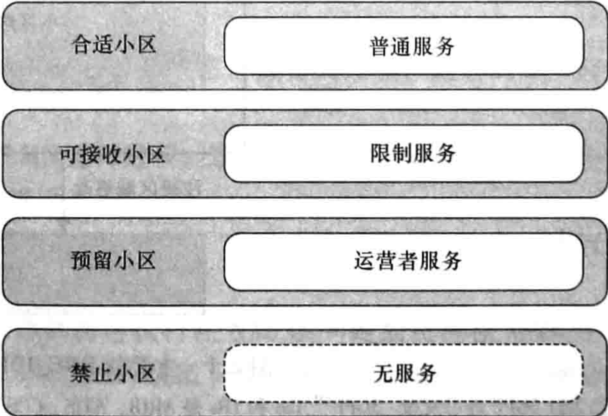


图2.2 小区种类和服务类型间的联系

在表2.2中描述了合适小区和可接收小区的需求。标记“O”表示相应的需求应该得到满足。对禁止小区和保留小区的需求表中没有给出，如果一个小区是禁止小区或保留小区，系统信息会

做出表示，这些会在2.8节中进行描述。

表2.2 不同种类小区的需求

需求种类	需求描述	合适小区	可接收小区
USIM	UE应有一个有效的USIM	○	
PLMN	小区是（1）通过PLMN选择的一个被选PLMNP（2）已注册PLMN或者（3）同等的PLMN（EPLMN）	○	
追踪区域（TA）	小区至少是一个TA的一部分。这TA（1）不在禁止漫游的TA中且（2）属于一个能履行上述要求的PLMN	○	
小区选择	小区选择的标准被满足（见2.6节）	○	○
禁止中	小区未被禁止（见2.8节）	○	○
CSG	UE是小区的一个CSG成员，注意到这需求只用于CSG小区（见2.9节）	○	

2.3 UE状态及状态转换

在RRC_IDLE状态中有3种状态适应于UE：CampedNormally状态；CampedOnAnyCell状态以及AnyCellSelection状态。通过当前服务小区的小区类型或者通过UE是否正在预占一个小区来判断区分这些状态。UE通过执行空闲模式过程从一种状态转换到另一种状态。图2.3展示了这些状态之间的状态转换图。

1）CampedNormally：在这种UE状态下，在RRC_IDLE中的UE正在等待合适小区。

2）CampedOnAnyCell：在这种UE状态下，在RRC_IDLE中的UE正在等待可接收小区。

3）AnyCellSelection：在这种UE状态下，在RRC_IDLE中的UE正在尝试找到一个可接收小区。

如果在小区选择的过程中UE不能找到任何合适小区，或者同时处在CampedNormally状态，它将进入AnyCellSelection状态。如果UE不能找到任何可接入小区，同时处在CampedOnAnyCell状态，它也将进入AnyCellSelection状态。

当UE处在AnyCellSelection状态时，它会尝试找到一个可接收小区。由于可接收小区的请求只包含执行小区选择标准并且处于无禁止状态，如表2.2所示，UE将通过其支持的任意PLMN和所有RAT搜索一个可接收小区。一旦找到就选定这个可接收小区，然后进入CampedOnAnyCell状态。

当UE处在CampedOnAnyCell状态时，它会通过搜索其支持的所有RAT的所有频率找到一个合适小区。一旦找到就选定这个合适小区，然后进入CampedNormally状态。

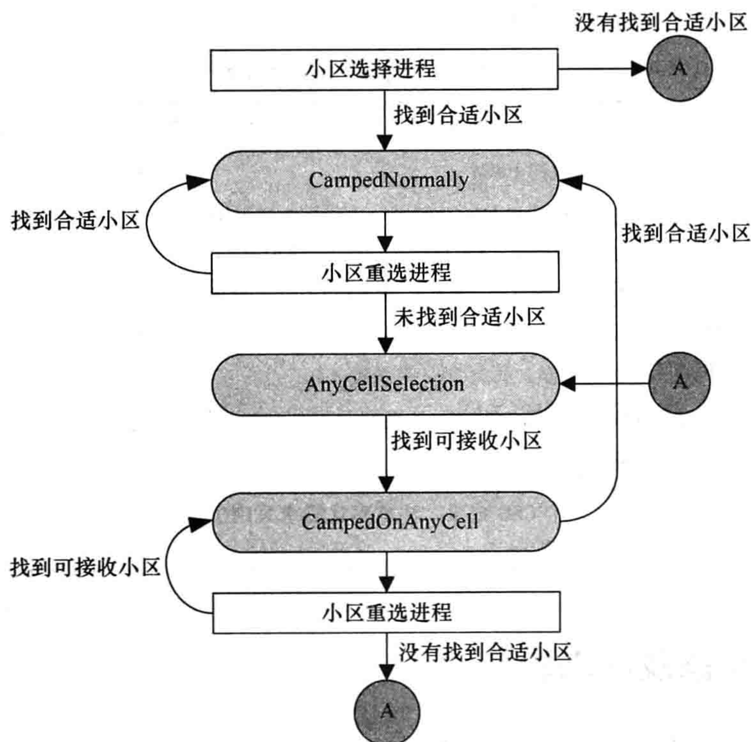


图 2.3 空闲模式的状态转移

2.4 PLMN 选择

PLMN 是由移动网络运营商所应用和支持的网络。每个移动网络运营商都会运营一个或多个 PLMN。每个 PLMN 都能够由移动区域码（MCC）和移动网络码（Mobile Network Code，MNC）进行鉴别。一个小区的 PLMN 信息以广播的形式包含在 SystemInformationBlockType1 中的 PLMN 识别信息中。

对于 PLMN 选择、小区选择以及小区重选，下面是 UE 用到的几种 PLMN 类型：

1）归属 PLMN：这种 PLMN 的 MCC 和 MNC 与 UE 的国际移动用户身份码（International Mobile Subscriber Identity，IMSI）的 MCC 和 MNC 是相匹配的。

2）等效归属 PLMN：任何等效于 HPLMN 的 PLMN。

3）已登记 PLMN：这种 PLMN 用于位置注册是成功的。

4）等效 PLMN：任何等效于 RPLMN 的 PLMN。

每个移动服务订阅用户使用归属 PLMN 进行预约。当正常服务通过归属 PLMN 或者等效归属 PLMN 提供给 UE 时，UE 不会处在漫游状态。另一方面，当服务通过 PLMN 而不是通过归属 PLMN 或者等效归属 PLMN 提供给 UE 时，UE 将处在漫游状态，并且这个 PLMN 叫作访问 PLMN。

2.4.1　PLMN 选择的触发

当 UE 通过一个有效 USIM 开启时，UE 通常会尝试去注册先前已注册过的 PLMN，这样可以节省时间，否则就需要执行 PLMN 选择。如果注册失败，UE NAS 将启动 PLMN 选择。当 UE 缺少已选择 PLMN 的服务覆盖时，也可能启动 PLMN 选择。一个用户也可能手动启动 PLMN 选择去选择另一个 PLMN。

2.4.2　可用 PLMN 的搜索

如果 PLMN 选择启动，UE AS 会执行对可用 PLMN 的搜索。在搜索的过程中，UE 将浏览所有其支持的 E-UTRAN 选择频率。需要 UE 与最强小区的每个频率同步，并读取相关的系统信息来识别这个小区的 PLMN。

如果这个最强小区的 RS 接收功率（RS Received Power，RSRP）值等于或超过 110dBm，这个小区的 PLMN 信息将作为“高效 PLMN”报告给 NAS。否则，PLMN 信息将以 RSRP 值的形式发给 NAS。可用 PLMN 的搜索可以通过利用存储信息进行优化（例如，频率和其他小区参数），这些信息在先前的测量过程中对 UE AS 来说是已知的。通过 UE AS 报告给 UE NAS，找到了可用 PLMN。UE AS 也可以报告给与已报告 PLMNs 相联系的 RAT。

2.4.3　PLMN 选择

一旦接收到由 UE AS 报告的 PLMN 信息，UE NAS 评估从报告来的 PLMN，然后执行 PLMN 选择。在 PLMN 选择过程中，如果有信号，UE 要考虑禁用的 PLMN 和等价的 HPLMN 的信息。关于 PLMN 和相关的 RAT 的优先级，UE 也会充分利用存储在 USIM 中的可用信息。这些信息由“接入技术 HPLMN 选择器”数据文件、“接入技术 HPLMN 选择器的运营商”数据文件或“接入技术 HPLMN 选择器的用户”数据文件等提供。这种数据文件的一般结构在表 2.3 中进行了描述。每一种数据文件的细节内容可参见本章参考文献［4］。

表 2.3 中的记录是按优先级的降序排列。注意在数据文件中，每条 PLMN 记录都相对应列出了相关的 RAT。确切的信息结构均可以在表中找到。

表 2.3　选择器数据文件中信息的例子

Entry#	描述（以优先级顺序排列）
1a	1st PLMN（最高优先级）
1b	1st PLMN 接入技术标识
2a	2nd PLMN
2b	2nd PLMN 接入技术标识…
⋮	⋮

这里有两种模式的 PLMN 选择：

1）自动 PLMN 选择：UE 基于优先级次序自动从报告过来的 PLMN 列表中选择一

个可用的 PLMN。

2）手动 PLMN 选择：用户手动从 UE AS 提供的 PLMN 列表中选择一个 PLMN。

在自动 PLMN 选择中，UE 按照预先给出的步骤进行选择并尝试在 PLMN/RAT 注册直到注册成功。下面是选择 PLMN/RAT 的步骤：

1）在 HPLMN 中列出 PLMN 或 EHPLMN 列表；

2）在“控制带接入技术 HPLMN 选择器的用户”数据文件中列出 PLMN；

3）在“控制带接入技术 HPLMN 选择器的管理员”数据文件中列出 PLMN；

4）由 AS 报告高质量的 PLMN；

5）由 AS 报告按信号质量降序排列的 PLMN。

在手动 PLMN 选择中，UE 给用户展示了一系列可用的 PLMN/RAT。在展示时，PLMN/RAT 次序与自动 PLMN 选择几乎相同。在选定 PLMN 后，UE 会尝试对选定的 PLMN 注册。具体细节见本章参考文献［2］。

关于选定 PLMN/RAT 的信息，UE AS 会说明。然后 UE AS 执行小区选择预占一个属于选定 PLMN/RAT 的合适小区。小区选择的细节会在 2.6 节给出。

如果找到合适小区，UE 会尝试在选定的 PLMN 中进行位置注册。如果位置注册成功，那么选定的 PLMN 信息将会呈递给用户，并且 PLMN 选择过程结束。一旦位置注册成功，选定 PLMN 就变成了 RPLMN。在位置注册过程，会提供 UE 一系列关于 EPLMN 的信息。如果提供了，UE 存储这些信息。UE 会考虑在 EPLMN 列表中所有的 PLMN，相当于用于 PLMN 选择和移动的当前 RPLMN；换言之，就是小区选择和重新选择以及切换。

2.5 位置注册

UE 获得服务的先决条件就是注册一个网络，这是通过 NAS 层信令机制来实现的。成功注册后，UE 就可以接收来自于 RPLMN 或 EPLMN 的服务。如果 UE 已经在网络中进行注册，那么任何时候它都可以入网。如果 UE 在 ECM-CONNECTED（相当于 RRC_CONNECTED）状态下，网络会意识到小区 UE 正在接受服务。但是，当 UE 在 ECM-IDLE（相当于 RRC_IDLE）状态下，UE 的上下文环境信息存储在 MME 中，但在 eNB 中是不可用的。在这种情况下，UE 在 ECM-IDLE 状态下的位置只对处在跟踪区域（TA）列表间隔中的 MME 是可知的。单个 TA 由跟踪区域标识（Tracking Area Indicator，TAI）识别，而 TAI 由 PLMN 标识和跟踪区域码（Tracking Area Code，TAC）组成，其中 PLMN 标识属于跟踪区，TAC 唯一地代表着 PLMN 的 TA。

3GPP R8 版本运用了 TAI 的理念来对 ECM-IDLE 中的 UE 进行位置管理，这样可以减少跟踪区域更新（Tracking Area Update，TAU）频繁出现的信令负载。只要 UE 进入一个小区，而该小区属于不在 TAI 列表中的跟踪区域，它就会启动 TAU 进行位置注册。小区跟踪区是在系统信息块类型 1 中进行广播的，TAI 列表通过信号发送给位置注册的 UE。

2.6 小区选择

小区选择过程就是寻找和选择预占的合适小区。当UE没有预占任何小区时，通常小区选择过程就会被触发。由于这个原因，小区选择应该完成得越快越好。

在应当为选定的PLMN挑选合适小区时，小区选择也可能被PLMN选择触发。当UE离开RRC_CONNECTED时，小区选择同样可能被触发，正如2.6.2节解释的那样。

服从于小区选择的RAT可以被NAS控制。例如，UE会考虑将与PLMN相关RAT的小区作为小区选择的候选，其中PLMN由PLMN选择过程选出，这在2.4节已经描述了。

总之，小区选择有两种类型，取决于UE是否利用存储信息进行小区选择：

1）初始小区选择：UE进行小区选择没有使用任何E-UTRAN次数分配表中的存储信息。

2）带存储信息的小区选择：通过随意存储载波频率和小区参数上的信息来辅助小区选择，这样小区选择能够完成得更快。

当小区选择被触发时，如果存储信息可用，带存储信息的小区选择会被触发。如果带存储信息的小区选择不能够找到合适小区或者小区选择被触发时没有可用的存储信息，那么UE会执行初始小区选择过程。

在初始小区选择中，UE会浏览其支持的E-UTRAN队列中所有的频率，然后在作为小区选择候选的每个频率中挑选最强大的小区。

如果一个满足所有的小区选择标准（见2.6.1节）的小区在小区选择过程中被找到，UE会选定这个小区并评估这个小区的适当程度，如2.2节所述。如果不能找到合适小区，UE会进AnyCellSelection状态，如2.3节所述。

2.6.1 小区选择标准

小区选择标准被称为S标准，它用来评估小区的信号水平是否超过了相对应的阈值。小区选择标准是判断一个小区是否被认为合适的条件之一。

在R8版本的小区选择标准中，使用了RSRP度量标准。在R9版本中S标准进行了扩展，S标准进一步考虑参考信号接收质量（Reference Signal Received Quality，RSRQ）的度量标准。RSRQ按照RSRP的比率定义到E-UTRAN载体接收机信号场强指示（Received Signal Strength Indication，RSSI）上。尽管RSRP给出了被测小区信号强度的重要信息，但它不能很好地反映小区的信号质量。由于包含在RSRQ的RSSI计算结果反映了被测小区信号质量，因此RSRQ是一种适当程度上反映小区信号质量的标准。在R9版本中RSRQ标准的使用帮助了UE，避免UE选择那些具有高RSRP值，但是受到干扰而具有低RSRQ值的小区。

当针对S标准的RSRQ标准适用时（也就是，如果UE支持用RSRQ标准来进行小区选择并由网络通告相关的阈值），如果一个小区的S_{rxlev}和S_{qual}都超过0dB，那么UE将

选择这个小区，这里的S_{rxlev}和S_{qual}定义如下：

1）$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeats} - (Q_{rxlevmin} + Q_{rxlevminoffset}) - P_{compensation}$；

2）$S_{qual} = Q_{qualmeats} - (Q_{qualmin} + Q_{qualminoffset})$。

在S标准中，S_{rxlev}是RSRP标准，而S_{qual}是RSRQ标准。这个章节，对于RSRP评估和RSRQ评估，假定X分别取值“rxlev”和“qual”标准S_X进一步由Q_{Xmeas}、Q_{Xmin}、$Q_{Xminoffset}$以及$P_{compensation}$组成：

1）Q_{Xmeas}是被评估小区的测量水平；

2）Q_{Xmin}是小区选择需要的最低水平；

3）$Q_{Xminoffset}$是一个偏移值，用来避免在PLMN边界上对较高优先级的PLMN的周期性选择过程中来回选择；

4）$P_{compensation}$是规定了最大值（$P_{EMAX} - P_{PowerClass}$，0），这里$P_{EMAX}$是允许UE发送到小区内的最大的TX功率级，$P_{PowerClass}$是UE对应相应的UE功率级的最大射频（Radio Frequency，RF）输出功率，如本章参考文献［5］中的定义。这个偏移值可以避免UE在传输功功率不够时选择小区。

当针对S标准的RSRQ标准不适用时（也就是，如果UE不支持用RSRQ标准来进行小区选择或者网络不通告相关的阈值），UE利用S标准进行小区选择只需要使用S_{rxlev}，换言之，就是不论S_{rxlev}是否超过0dB。

上述关于小区选择的参数会在CellSelectionInfo中广播，而CellSelectionInfo包含在SystemInformationBlockType1消息中。

注意小区选择标准仅适应于E-UTRAN小区。对于其他RAT的小区选择，UE应该依据由相关RAT规范定义的小区选择标准。

2.6.2 基于RRC连接释放的小区选择

当UE离开RRC_CONNECTED状态时，它会在RRC_IDLE状态中执行小区选择预占一个小区。当UE在RRC_CONNECTED状态下接受服务后，它通常选择最后一个服务小区。

eNB可能列入RRCConnectionRelease消息的RedirectdCarrierInfo来重定向UE到E-UNTRAN的另一个承载频或另一个RAT（见3.12节）。如果列入RedirectdCarrierInfo，UE会尝试在RAT或RedirectdCarrierInfo指示的频率预占一个合适的小区。如果在指示的频率或RAT没有找到合适的小区，UE会搜索指示RAT的其他承载频率。如果UE仍然没有找到合适的小区，那么UE会利用存储信息启动小区选择。

需要注意的是，UE从在RRC_CONNECTED的状态转换到CampedOnAnyCell状态后，当UE返回RRC_IDLE状态时，它会预占一个可接收小区。

2.7 小区重选

当UE正在预占一个小区时，它会不断尝试重选一个更好的小区。而决定一个更好

小区的标准会在本节描述。关于小区重选，UE 需要执行以下步骤：

1）步骤 1：相邻小区的测量；

2）步骤 2：相邻小区的测量结果的评估；

3）步骤 3：小区重选和访问验证。

在步骤 1，网络 UE 重选的信息，这些信息指示 UE 需要测量的承载频率。对 E-UTRAN和其他 RAT 来说，小区重选通过 SystemInformationBlockType3 到 SystemInformationBlockType8 的系统信息提供，例如，GERAN、UTRAN、CDMA2000 1xRTT/HRPD。

当小区重选的承载频率给出时，网络同时也会提供指示频率/RAT 的重选优先级。重选优先级是控制 UE 预占频率/RAT 的一个关键参数，小区重选的一个基本原则就是需要重选一个优先级最高的频率。例如，网络可能集 RRC_IDLE 中某个载波/RAT 的 UEs 或者它可能通过配置重选优先级将它们划分成一些不同的承载频率，这主要取决于运营商的策略。

除了广播重选优先级，重选优先级可以以 UE 规范方式进行配置。当网络通过 RRCConnectionRelease 消息释放 UE 的 RRC 连接时，给定的重选优先级可以通过信号发给 UE，并且这些重选优先级的有效期是随意的。当 UE 收到这些给定的重选优先级之后，对于 RRC_IDLE 中的重选，它会应用给定重选参数，而不是广播重选参数。当 UE 进入 RRC_CONNECTED 状态时，给定重选参数会被丢弃，这时执行 PLMN 选择或有效时间计数器超时。

2.7.1 测量规则

在 RRC_IDLE 中，UE 应该为网络提供的频率优先级执行一次或多次的频率测量。它不会在那些优先级对 UE 来说不可知的频率上执行测量。

2.7.1.1 测量要求

UE 根据在本章参考文献［6］中规定的测量要求进行测量。不同的测量目标测量要求是不同的，如下：

（1）内部频率测量要求

1）服务小区：每个 DRX 周期内，UE 至少测量服务小区的 RSRP 和 RSRQ 水平一次。

2）内部频率相邻小区：当 UE 要求测量内部频率时，至少每个 $T_{measure,EUTRAN_Intra}$ 都要测量 RSRP 和 RSRQ。

（2）频率间的测量要求

1）高频率优先级的相邻小区：当一个相邻小区的频率优先级比服务小区的优先级更高时，至少每个 $T_{higher_priority_search}$ = （60 * N_{layers}）秒内，UE 都会在小区重选的过程搜索具有更高优先级频率的小区，这里的 N_{layers} 是包括 E-UTRA、UTRA FDD、UTRA TDD 以及 CDMA2000 1xRTT/HRPD 配置的较高优先级承载频率的总数。如果 GSM 频率的一个或多个组配置较高优先级，N_{layers} 就增加一个。对于标识的较高优先级小区，UE 在每个 $T_{measure,EUTRAN_Inter}$ 内至少将测量一次。

2）相同或较低频率优先级的相邻小区：当一个 E-UTRAN 相邻小区的频率优先级与服务小区的优先级相等或更低时，在每个 $K_{carrier} * T_{measure,EUTRAN_Inter}$ 内 UE 至少将测量一次，这里的 $K_{carrier}$ 是由服务小区在 SystemInformationBlockType5 中给出的 E-UTRAN 承载频率的数量。

2.7.1.2　能效测量

典型地，一个运营商可能为 E-UTRAN 或其他 RAT 提供不止一个承载频率。如果 UE 要求测量这些 RAT 所有的承载频率，它将导致十分严重的耗电现象。为了避免这种电池耗电量的浪费，网络允许 UE 使用更高效的测量机制。这种高效测量的关键在于 UE 能否跳过那些被认为不急迫的测量。例如，如果服务小区的测定级别足够好，一些相邻小区的测量就可能被认为不那么重要，因此可以忽略。对一个 UE 来说，决定是否允许 UE 使用更高效的测量只在于 R8 版本中服务小区（S_{rxlev}）使用的 RSRP 标准，而在 R9 版本（Release 9，Rel-9）以及之上则是 RSRP 和 RSPQ 标准（S_{rxlev} 和 S_{qual}）。在 R9 版本（Release 9，Rel-9）中 RSRP 和 RSPQ 共同关注的是避免对那些 RSRP 测量值高但 RSRQ 测量值低的新小区进行不必要的小区重选。

取决于 S_{rxlev} 和 S_{qual} 的值，高效测量对内部频率测量和频率间的测量的应用是不同的：

1）内部频率测量：如果 S_{rxlev} 超过 RSRP 阈值（$S_{IntraSearchP}$）并且 S_{qual} 超过 RSRP 阈值（$S_{IntraSearchQ}$），UE 可以跳过内部频率相邻小区的测量。

2）频率间的测量：如果 S_{rxlev} 超过 RSRP 阈值（$S_{nonIntraSearchP}$）并且 S_{qual} 超过 RSRP 阈值（$S_{nonIntraSearchQ}$），UE 可以跳过频率间相邻小区的测量。

相关的阈值参数即 $S_{IntraSearch}$ 和 $S_{nonIntraSearch}$ 由 SystemInformationBlockType3 可选地给出。如果未给出，则默认 $S_{IntraSearch}$ 和 $S_{nonIntraSearch}$ 无穷大并默认 $S_{IntraSearchP}$ 和 $S_{nonIntraSearchQ}$ 为 0。注意设置 RSRP 阈值为无穷大将导致不等式中的 S_{rxlev} 将不可能超过 RSRP 阈值，设置 RSRQ 阈值为 0 将会使 S_{qual} 总是超过 RSRQ 阈值。图 2.4 描绘了这样一个情景，即在假定在 $S_{IntraSearch}$ 比 $S_{nonIntraSearch}$ 高的情况下，要求测量取决于服务小区的 S_{rxlev} 和 S_{qual} 给定值。

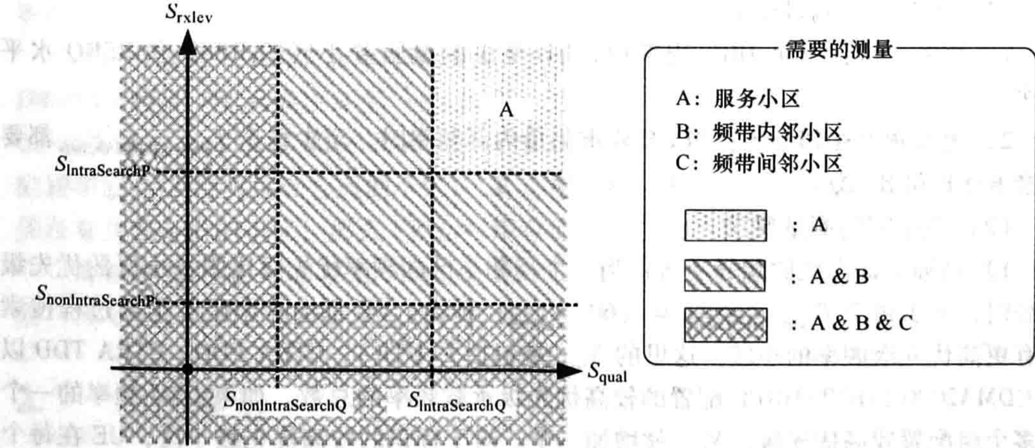


图 2.4　能量有效的测量

2.7.2　相邻小区的重选

当测量结果是可用时，UE 将为小区重选评估这些测量结果。有两种不同类型的重选标准：平等优先级小区间的重选标准；不平等优先级小区间的重选标准。第一种标准用于重选一个频率优先级与服务小区相同的小区，第二种标准用于重选一个频率优先级与服务小区不相同的小区。

注意评估重选标准时，通常会联合应用到以下几条：

1）重选时间：当使用 S 标准（S_{rxlev}和 S_{qual}）或 R 标准（R_n）评估相邻小区时，只要在重选时间间隔内评估标准值一直超过相应的阈值，那么评估标准将可以满足。而这个时间间隔是由 $T_{reselection}$给出并由每个 RAT 配置的。$T_{reselection}$用于可能发生的往复，例如，如果一个小区只要满足时间间隔小于 $T_{reselection}$的标准，就执行小区重选过程。

2）最短服务小区停留时间：为了阻止小区重选在短时间内频繁发生，小区重选只有在 UE 预占服务小区超过 1s 时才会被执行。

2.7.2.1　平等优先级小区的重选

这种情况就 UE 对一个频率优先级与服务小区相同的相邻小区执行重选评估。对应重选的内部/外部频率相邻小区都拥有和服务小区相同的频率优先级。

对频率优先级相同的小区，小区排名标准（R 标准）用于决定 UE 应该重选哪个小区。对于 R 标准，UE 将计算具有相同频率优先级的服务小区（R_s）和相邻小区（R_n）的 R 值，如下定义：

1）对于服务小区 $R_s = Q_{meas,s} + Q_{Hyst}$；

2）对于每个相邻小区 $R_n = Q_{meas,n} + Q_{offset}$。

R 标准进一步由 Q_{meas}，Q_{Hyst}和 Q_{offset}组成：

1）Q_{meas}是 RSRP 中的测定值；

2）Q_{Hyst}是应用在服务小区的滞后值；

3）Q_{offset}是应用在被评定的相邻小区的偏移值。

UE 基于计算出的 R 值对小区进行排名。如果相邻小区排名比服务小区更高，也就是说 $R_n > R_s$，则 UE 会重选排名最高的相邻小区。

对于重选定小区，UE 需要通过读取小区系统消息来执行访问验证，如 2.8 节所述。如果排名最高的小区被验证是合适的，那么小区重选是成功的并且 UE 可以预占这个小区。

2.7.2.2　不平等优先级小区的重选

这种情况就 UE 对一个频率优先级与服务小区不相同的相邻小区执行重选评估。也是就说，重选只对比服务小区频率优先级高或者低的相邻小区。

在 R8 版本中，对不平等优先级小区的重选只利用 RSRP 标准（S_{rxlev}）。在 R9 版本（Release 9，Rel-9）中，当其可用时，这个标准扩展到 RSRQ 标准（S_{qual}）。如果网络广播 thresholdServingLowQ 中的 RSPQ 阈值，其中 thresholdServingLowQ 包含在 System-InformationBlockType3 里，UE 将采用 RSRQ 标准，也就是说，使用 RSRQ 标准（S_{qual}）

和相关的阈值，否则，UE 就使用 RSRP 标准，也就是使用 RSRP 标准（S_{relev}）和相关的阈值。在 R9 版本用的阈值包括 RSRQ 的 $Thresh_{Serving,LowQ}$、$Thresh_{RAT,HighQ}$ 和 $Thresh_{RAT,LowQ}$ 以及 RSRP 的 $Thresh_{Serving,LowP}$、$Thresh_{RAT,HighP}$ 和 $Thresh_{RAT,LowP}$。注意 $Thresh_{Serving,LowP}$、$Thresh_{RAT,HighP}$ 和 $Thresh_{RAT,LowP}$ 分别对应 R8 版本规范中的 $Thresh_{Serving,Low}$、$Thresh_{RAT,High}$ 和 $Thresh_{RAT,Low}$。同样也要注意 RSRQ 标准仅适用于 E-UTRAN 和 UTRAN FDD 相邻小区。对于 UTRAN TDD、GERAN 和 CDMA2000 相邻小区，只有 RSRP 标准适用。

对于不同频率优先级的相邻小区，UE 采用不同的重选评估标准，这取决于被评估小区的优先级。

1）在较高优先级频率上重选一个小区：如果具有较高优先级频率的小区被检测到，并且小区的评估标准值超过了相关阈值（$Thresh_{RAT,HighQ}$ 和 $Thresh_{RAT,HighP}$），UE 将重选这个小区。具体来说如下，

① 如果 UE 支持基于 RSRQ 的评估（例如，R9 版本的 UE）和网络通告相关的 RSRQ 阈值，UE 将评估 RSRQ 标准，即评估小区的 S_{qual} 是否超过 $Thresh_{RAT,HighQ}$。如果标准满足，UE 将重选这个评估小区。

② 如果 UE 不支持基于 RSRQ 的评估（例如，R8 版本的 UE）和网络不通告相关的 RSRQ 阈值，UE 将评估 RSRP 标准，即评估小区的 S_{rxlev} 是否超过 $Thresh_{RAT,HighP}$。如果标准满足，UE 将重选这个评估小区。

图 2.5 描绘了一个较高优先级频率的小区重选的例子，这里 UE 重选这样一个小区（1a），这个小区它的频率 1（F1）的优先级比服务小区的频率（F2）优先级高，尽管重选小区（1a）的测定级别低于当前服务小区（2a）。当对较高优先级小区的重选评估时，服务小区的质量不被考虑，即使当服务小区的质量足够好时，也允许对较高优

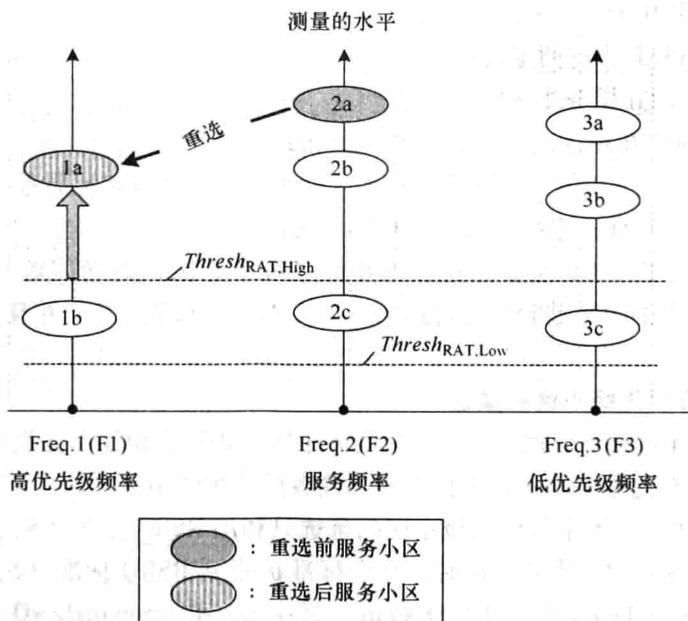


图 2.5 重选一个更高优先级频率的小区

先级小区重选。

2）在较低优先级频率上重选一个小区：如果具有较低优先级频率的小区被检测到，并且服务小区的质量低于相关阈值（$Thresh_{Serving,LowQ}$或$Thresh_{Serving,LowP}$）并且目标小区的质量低于相关阈值（$Thresh_{RAT,LowQ}$和$Thresh_{RAT,LowP}$），UE将重选这个小区。具体来说如下，

① 如果UE支持基于RSRQ的评估和网络通告相关的RSRQ阈值，UE将评估RSRQ标准，即服务小区的S_{qual}是否低于$Thresh_{Serving,LowQ}$并且评估小区的S_{qual}是否低于$Thresh_{RAT,LowQ}$。如果两条标准皆满足，UE将重选这个评估小区。

② 如果UE不支持基于RSRQ的评估和网络不通告相关的RSRQ阈值，UE将评估RSRP标准，即服务小区的S_{rxlev}是否低于$Thresh_{Serving,LowP}$并且评估小区的S_{rxlev}是否低于$Thresh_{RAT,LowP}$。如果两条标准者满足，UE将重选这个评估小区。

图2.6描绘了一个较低优先级频率的小区重选的例子，这里UE重选这样一个小区（3a），这个小区它的频率1（F3）的优先级比服务小区的频率（F2）优先级低。当对较低优先级的小区的重选评估时，在评估条件中会考虑服务小区质量，只有当服务小区的质量不够好时，较低优先级小区重选才会发生。

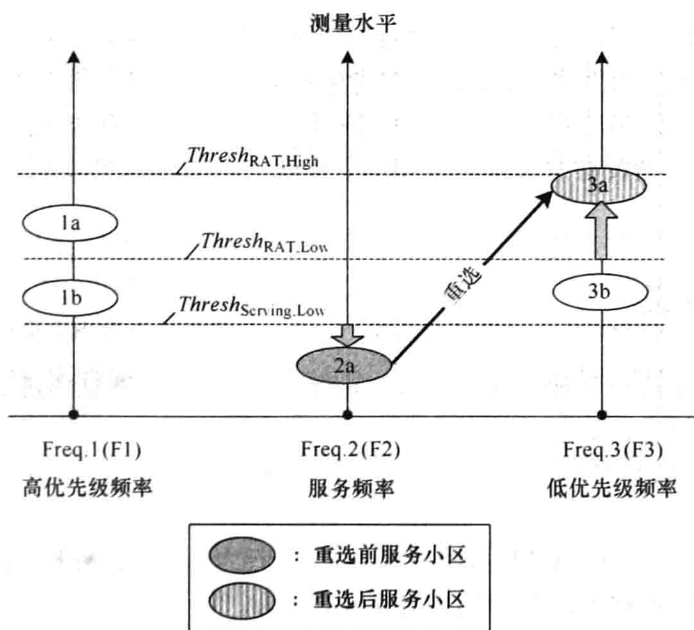


图2.6　重选到一个较低优先级频率小区

2.7.3　移动状态依赖比例缩放

最佳的移动性参数可能主要依赖于UE移动状态。例如，对一个高移动性UE采用较短的$T_{reselection}$值将比较合适，这样重选目标小区将发生得更快，不然的话，UE可能在

重选开始或完成之前就失去了服务小区覆盖。为了使 RRC_IDLE 中的 UE 最优化，UE 本身需要知道自己的移动状态。

2.7.3.1 移动状态检测

在 RRC_IDLE 中，移动状态可以通过重选计算被 UE 检测到，一般假定重选数量较多意味着具有较高的移动性，而重选数量较少表示具有较低的移动性，UE 能够检测到 3 种移动性状态：正常移动性状态、中移动性状态、高移动性状态。

当服务小区提供包括在 SystemInformationBlockType3 的 speedStateReselectionPars 中的相关的参数（T_{CRmax}、$T_{CRmaxHyst}$、N_{CR_H}和 N_{CR_M}）时，就可以进行移动状态检测了。如果 T_{CRmax}重选数超过 N_{CR_H}，那么 UE 处于高移动性状态。如果 T_{CRmax}重选数超过 N_{CR_M}但是等于或少于 N_{CR_H}，那么 UE 处于中移动性状态。如果对 $T_{CRmaxHyst}$，高移动性状态或中移动性状态的标准没有满足，那么 UE 处于正常移动性状态。注意在重选计数过程中，两个小区之间的连续重选（也就是从 A 小区到 B 小区，然后从 B 小区到 A 小区）只能计为一次。

2.7.3.2 重选参数的缩放

如果检测到一个高或中移动性状态，对于这个参数它会采用加速依赖缩放。加速依赖缩放的重选参数是 Q_{hyst}和 $T_{reselection}$，它们由 SystemInformationBlockType3 提供。如果 UE 处在高或中移动性状态，这些重选参数会分别按照高或中移动性状态缩放参数按比例缩小，这样重选可以更快地执行以适应快速变换信道；也就是说，Q_{hyst}会变得更小且 $T_{reselection}$会变得更短。然后 UE 会使用这些缩放参数进一步进行重选评估。如果 UE 处在正常移动性状态，是没有重选参数可用的；也就是说 Q_{hyst}和 $T_{reselection}$的广播值无缩放使用。

2.8 访问验证

基于选择或重选一个新的小区，UE 会执行访问验证去检查这个选定小区是否适合预占。在访问验证过程中，UE 可能会观察到这个小区禁止，或者会意识到这个小区由于漫游/没有允许的 PLMN 禁止 TA 而不合适。UE 在这些情况做出的不同行为取决于访问验证的结果。

首先讲解的是在访问重选后被网络施加的 UE 行为，然后讲解基于选择一个处在漫游或不允许 PLMN 中被禁止 TA 的小区上的 UE 行为。

2.8.1 小区禁止状态和小区保留状态

网络可能给处于 RRC_IDLE 状态中的 UE 强加访问限制，以使 UE 不能平等地预占一个小区。这种访问限制是通过配置小区禁止状态或小区保留状态来执行。

另外，当允许 UE 预占小区时，网络可能控制在 RRC 连接建立过程的访问尝试。接入类型受限（Access Class Barring，ACB）机制就是阻止一些 UE 进入相关小区 RRC_CONNECTED 的机制，它只应用在 UE 启动一个 RRC 连接建立时。ACB 的细节将会在

3.4.1节描述。

总之，访问限制是由RRC_IDLE中针对UE的广播访问限制相关信息所强加的。而这些访问限制相关信息由SystemInformationBlockType1（相对小区禁止和保留状态）和E-UTRAN小区上的SystemInformationBlockType2（相对ACB）提供。

每个小区均应该指出自己的禁止状态，不管它是不是禁止小区。小区禁止状态是由在SystemInformationBlockType1的cellBarred广播的，它可设置为“禁止”和“非禁止”。小区同样应该指出自己的保留状态，不管小区是否为运营商使用而保留，并且这些信息是由在SystemInformationBlockType1的cellReservedForOperatorUse广播的，它可设置为“保留”和“非保留”。注意小区禁止状态的单个值是广播的，而小区保留状态的单个值是可以在小区中的每个PLMN中广播的。

当UE执行访问验证时，UE运转如下（这取决于小区禁止状态和小区保留状态的结合）：

1）情景1：如果小区禁止状态设置为“非禁止”而小区保留状态设置为“非保留”，那么UE允许预占小区。

2）情景2：如果小区禁止状态设置为“非禁止”而小区保留状态设置为“保留”，小区被认为是“非禁止”仅对于那些被分配给AC11或AC15的UE，其中AC11或AC15是在它们的HPLMN/EHPLMN中操作的。分配的AC号在{0，…，9}或{12，13，14}中的UE应当考虑为已注册PLMN或已选定PLMN将小区状态设置为“禁止”。

3）情景3：如果小区禁止状态设置为“禁止”，那些所有的UE应当认为小区“禁止”。

如果一个小区被认为是“禁止”的，那么UE不允许预占这个小区。即使紧急呼叫在“禁止”小区也是不允许的。一旦小区变成禁止的，UE需要迁移到另一个预占小区。这里的问题是UE是否允许重选一个相同频率的小区。从冲突的角度看，允许UE选择另一个相同频率的小区可能是不合适的。但是，如果没有其他合适的频率，那么选择相同频率的小区是最好的选择。为了处理这种情况，网络广播一个单bit的指示器，表示为intraFreqReselection，用来控制UE在选定小区是“禁止”的情况下，是否允许其重选另一个相同频率的小区。intraFreqReselection指示器由InformationBlockType1提供。如果指示器设置为“允许”，那么允许UE在选定小区是“禁止”的情况下，选择另一个相同频率的小区作为选择/重选的候选。否则，UE将排除所有相同频率的小区作为选择/重选的候选。对禁止小区的访问限制应用是300s。如果禁止小区是一个CSG小区，那么intraFreqReselection指示器不适用。对于CSG小区的选择/重选将在9.5节中解释。

由于漫游/禁止PLMN中的受禁止TA产生的不合适小区

基于小区禁止和保留状态，即使对一个小区的访问请求是允许的，访问认证仍然可能显示重选小区是不合适的，其原因就是可选择小区属于“漫游禁止追踪区域列表”或者不同于RPLMN的PLMN。

由于上述原因而不合适的重选小区是一个 E-UTRAN 小区，UE 最长可用 300s 的时间来排除相同频率上所有小区作为重选的候选小区。如果基于上述相同原因，重选小区是一个 RAT 间小区，UE 只会排除那一个小区作为重选的候选小区，其他相同频率的小区，在可用的情况下，依然可以考虑作为重选的候选小区。

如果某个条件满足，小区重选的限制可以申请被释放。例如，如果 UE 进入 AnyCellSelection 状态或者如果网络重定向一个频率且有一个 300s 的定时器已经运行，那么所有限制都会被释放，以便 UE 能快速找到一个可接收小区。如果排名较高的小区频繁变化，那么 UE 不会对那个频率采取任何限制。

2.9 寻呼接收

在网络端，针对 RRC_IDLE 中 UE 的终端请求，MME 会通过 S1 接口发送寻呼信息——也就是 S1AP 寻呼信息到相关的 eNB，这些 eNB 属于 UE 被期望置放的追踪区域。寻呼信息包括寻呼 UE 的寻呼标志以及 UE 被期望置放的追踪区域的标志。这寻呼标志是指 UE 标志，即代表 UE 在 SAE 临时移动用户识别（SAE-Temporary Mobile Subscriber Identity，S-TMSI）或 IMSI 中的形式。根据从 MME 中接收的寻呼信息，eNB 通过发送寻呼信息到那些追踪区域的小区以对广播接口上的 UE 进行寻呼。这些寻呼信息包括一系列的寻呼记录，其中每个寻呼记录都包含了寻呼 UE 的寻呼标志以及源于寻呼 UE 的寻呼的核心网络域。

从 UE 端，接收到寻呼信息，要求 RRC_IDLE 中 UE 监视物理控制通道来定址寻呼信息，这些控制通道可以查询 PDCCH，并通过寻呼无线网络临时标识（Paging-Radio Network Temporary Identity，P-RNTI）来加密。同时要求 UE 在寻呼接收的某些特定场合监视 PDCCH。寻呼信息可以传输到 UE 的子框架是由寻呼无线帧（Paging Frame，PF）以及 PF 中的寻呼发生期（Paging Occasions，PO）定义的。PF 包含一个或多个 PO。PO 的发配是通过利用寻呼 UE 的 IMSI 来操作的，这样分配到不同 UE（不同的 IMSI）的 PO 会通过子框架扩展。PF 和 PO 的计算可在本章参考文献［1］中找到。当 RRC_IDLE 中 UE 使用 DRX 方式运行时，它需要在一个寻呼 DRX 周期内监视至少一个 PO。

当解密这些寻呼信息时，UE 认为只有它的 UE 标志存在寻呼记录时，它才正在被寻呼。UE 会忽视那些不包含它的 UE 标志的寻呼信息，除非这些寻呼信息是有其他作用的，例如系统信息更改通知。

参 考 文 献

1. 3GPP Technical Specification 36.304, "User Equipment (UE) procedures in idle mode (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
2. 3GPP Technical Specification 23.122, "Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 10)",

www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 31.102, "Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) application (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 36.101, "User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
6. 3GPP Technical Specification 36.133, "Requirements for support of radio resource management (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
7. 3GPP Technical Specification 36.413, "S1 Application Protocol (S1AP) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第3章　无线资源控制

无线资源控制（RRC）层控制着用户设备（User Equipment，UE）和演进型基站（evolved Node B，eNB）在无线空中接口的通信和UE跨小区的移动性。RRC是接入层（Access Stratum，AS）控制平面中的最高层，也用于传输位于其上层的非接入层（Non-Access Stratum，NAS）的消息。NAS消息用于控制UE和演进分组核心网（EPC）之间的通信。

无线接口中用于控制用户数据传送的信令是由AS中的RRC层、媒体接入控制（MAC）层或者物理层（PHY）提供的。与由MAC层和物理层提供的信令相比，RRC层信令有如下的优点：

1）更高的扩展性：RRC消息容易扩展以适用于添加额外的控制信息，例如，未来发布的LTE增强版本。

2）安全的传输性：在专用控制信道（Dedicated Control Channel，DCCH）中传输的RRC消息的完整保护和加密是由分组数据汇聚协议（PDCP）提供的。然而，在物理层和MAC层中，信令的完整保护和加密都是不可实现的。

3）可靠的传输性：在DCCH中，RRC消息的丢失部分通过无线链路控制（RLC）提供的自动请求重传（Automatic Repeat-Request，ARQ）操作和MAC层提供的混合自动重传请求（HARQ）操作来实现重传。

4）更长的延时处理：所有的RRC消息都应通过其下层（例如PDCP层、RLC层、MAC层、物理层）的加工处理，才可以在无线接口中传输。由于这个原因，RRC层的控制相对于其他层的控制更慢一些。

一个用户设备（UE）有两个RRC状态：RRC_IDLE和RRC_CONNECTED。如果UE和演进型NodeB（eNB）之间存在RRC连接，则UE处于RRC_CONNECTED状态。反之，UE处于RRC_IDLE状态。

如果UE处于RRC_IDLE状态，那么UE将根据网络中RRC提供的参数进行小区选择和重新选择的操作，具体过程在第2章中已经描述。如果UE处于RRC_CONNECTED状态，那么UE将保持与eNB的RRC连接，并且在无线接口通过专用资源与网络进行通信。在RRC_CONNECTED状态下的UE也可以在网络的控制下进行移动。

在通用陆地无线接入网络（UTRAN）中，连接模式包含4种子状态（即CELL_DCH、CELL_FACH、CELL_PCH、URA_PCH）。这使得RRC层在UTRAN中变得很复杂，例如定义在不同子状态中的不同的UE行为和处理在4种子状态中的转变。与UTRAN中的RRC层相比，演进的通用陆地无线接入网络（Evolved Universal Terrestrial Radio Access，E-UTRAN）中的RRC层就显得简单多了，在连接模式中，它只有一个状态RRC_CONNECTED。因此，E-UTRAN中的RRC层与UTRAN中的RRC层相比提供

了更为简单的操作。

在AS中的RRC状态被连接到NAS中的演进分组系统（Evolved Packet System，EPS）连接管理（EPS Connection Management，ECM）状态，这是因为在UE和移动管理实体（Mobile Management Entity，MME）之间的NAS信令连接，是由RRC连接（通过UE和eNB之间Uu接口）和S1连接（通过eNB和MME之间的S1接口）组成的。当RRC连接建立时，UE在进入RRC_CONNECTED状态的同时，也进入ECM_CONNECTED状态，并认为NAS信令连接已建立。相反地，当RRC连接释放时，UE进入ECM_IDLE和RRC_IDLE状态，并认为NAS信令连接已释放。

需要注意的是，UE通常连接到演进型分组核心（EPC）网来获得演进型分组系统（EPS）服务。连接EPC的过程是由NAS中的EPS移动管理（EPS Mobility Management，EMM）协议来处理的，这个协议在RRC层之上。当UE连接到EPC时，它也在MME中注册，由此UE进入EMM_REGISTERED状态。在这个状态中，MME建立一个UE上下文环境和一个默认的EPS承载，使UE保持IP的连通性。

3.1 RRC功能和结构

RRC层可以实现如下功能：

（1）广播系统信息

1）用于UE处于RRC_IDLE状态的信息；

2）用于UE处于RRC_CONNECTED状态的信息；

3）NAS信息。

（2）寻呼

（3）建立/释放RRC连接

（4）传输NAS信息

（5）AS安全配置

（6）用户无线接入能力的传输

（7）无线资源配置

1）添加、修改、释放无线承载；

2）下层配置（例如PHY、MAC、RLC和PDCP）。

（8）测量配置和报告

1）添加、修改、移除测量配置；

2）测量报告。

（9）移动控制

1）演进的通用陆地无线接入（Evolved Universal Terrestrial Radio Access，EUTRA）内部切换；

2）无线接入技术（RAT）间切换。

（10）通过重建RRC连接恢复AS层失败

RRC 消息在广播控制信道（Broadcast Control Channel，BCCH）、寻呼控制信道（Paging Control Channel，PCCH）、公共控制信道（Common Control Channel，CCCH）或者专用控制信道（DCCH）传送。除了系统信息在 BCCH 中传送和寻呼消息在 PCCH 传送外，UE 和 eNB 之间的 RRC 消息交换是通过使用 CCCH 或 DCCH 实现信令无线承载（Signaling Radio Bearer，SRB）。在 EUTRAN 中，有 3 种 SRB 类型，分别是 SRB0、SRB1 和 SRB2。

SRB0 在 CCCH 中使用透明模式（Transparent Mode，TM）RLC 传输 RRC 消息。通过 SRB0 传送的 RRC 消息只用于有限的情况，比如，当 DCCH 逻辑信道未配置（例如，RRC 连接建立过程）时或者当其他类型的 SRB 都不可用时（例如，RRC 连接重建过程）。SRB0 的逻辑信道身份码设置为 0。

SRB1 和 SRB2 在 DCCH 中使用认证模式（Acknowledged Mode，AM）RLC 传输 RRC 消息。因为 AM RLC 通过 ARQ 保证了可靠传输，所以通过 SRB1 和 SRB2 传输的 RRC 消息几乎不可能丢失。相应地，SRB1 和 SRB2 的逻辑信道身份码分别设置为 1 和 2。

SRB1 和 SRB2 之间，后者被用来传输低优先级的 RRC 消息。因此，大部分的 RRC 消息都是通过 SRB1 传输的，只有转移 NAS 信息（例如，上下行信息转移消息）的 RRC 消息或者移动数据终端（Mobile Data Terminal，MDT）记录测量结果（见第 14.2 节）是通过 SRB2 传输。另外，当 SRB2 未建立时，或者在 RRC 连接建立过程中，当 NAS 信息装运在 RRC 消息上时，运载 NAS 信息的 RRC 消息可以在 SRB1 中传输。

在使用 RRC 过程中，UE 中的无线承载（RB）配置通常由 eNB 提供。然而，用于 BCCH 和 PCCH 的 RB 配置，SRB0 的 RB 配置是固定的，详述请参见本章参考文献[1]。这些特定的配置信息使 UE 能够读取系统信息、读取寻呼消息，甚至在没有 RRC 连接的情况下，实现 RRC 连接建立过程。

表 3.1 解释了 RRC 消息传输的可靠性和安全性是如何保证的。对于大部分的 RRC 消息，可靠性是分别由 RLC 和 MAC 层提供的 ARQ 和 HARQ 操作来保证，安全性是通过 PDCP 层提供的加密和完整保护功能保证的。然而，在 BCCH、PCCH 和 SRB0 总的传输的 RRC 消息，可靠性是通过 RRC 层的重传保证的，不能保证在 AS 层的安全性。这是因为这些 RRC 消息使用的是 TM RLC，绕过了 PDCP 层。

表 3.1 用于 RRC 消息传输的 2/3 层功能

	BCH 上的 BCCH PCH 上的 PCCH	DL-SCH 上的 BCCH	SRB0（CCCH）	SRB1/SRB2（DCCH）
RRC 层	重复信息传输	重复信息传输	N/A	N/A
PDCP 层	没有完整性保护和加密	没有完整性保护和加密	没有完整性保护和加密	完整性保护和加密可用
RLC 层	透明模式	透明模式	透明模式	确认模式（ARQ 重传）
MAC 层	N/A	无反馈 HARQ 重传	有反馈 HARQ 重传	有反馈 HARQ 重传

RRC 层实现了多种 RRC 过程。在 LTE R8 版中，这些过程和相应的 RRC 消息总结在表 3.2 中，本章将给出详细分析。值得一提的是，为了支持新特性，附加的 RRC 过

程和消息在 LTE R9 版本和 R10 版本中介绍。

表 3.2　LTE R8 版中 RRC 过程和消息的总结 Ⓢ：相应过程成功执行的消息 Ⓕ：相应过程执行失败的消息

过　程	消　息	逻辑信道	目　的
系统信息获取	MasterInformationBlock（DL） SystemInformationBlockTypel（DL） SystemInformation（DL）	BCCH	获取系统信息（见 3.2 节）
寻呼	Paging（DL）	PCCH	触发移动终止呼叫，指示系统信息更新和 PWS 通知（见 3.3 节）
RRC 连接建立	RRCConnectionRequest（UL） Ⓢ RRCConnectionSetup（DL） Ⓕ RRCConnectionReject（DL） Ⓢ RRCConnectionSetupComplete（UL）	CCCH（SRB0） DCCH（SRB1）	进入 RRC-CONNECTED 状态（见 3.4 节）
初始安全激活	SecurityModeCommand（DL） Ⓕ Security ModeFailure（UL） Ⓢ SecurityModeComplete（UL）	DCCH（SRB1） DCCH（SRB1）	在 AS 层激活完整性保护和加密（见 3.5 节）
RRC 连接重配置	RRCConnectionReconfiguration（DL）	DCCH（SRB1）	增加、修改和删除无线承载、度量配置和移交命令（见 3.6、3.8、3.9、3.11 节）
重复检验	Ⓢ RRCConnection ReconfigurationComplete（UL） CounterCheck（DL） CounterCheckResponse（UL）	DCCH（SRB1）	AS 安全验证
DL 信息传输	DLInformationTransfer（DL）	DCCH（SRB1/SRB2）	传输 NAS 或非 3GPP 授权信息
UL 信息传输	ULInformationTransfer（UL）	DCCH（SRB1/SRB2）	传输 NAS 或 non-3GPP 专门信息
UE 容量传输	UECapabilityEnquiry（DL） UECapabilityInformation（UL）	DCCH（SRB1）	传输 UE 天线接入容量信息（见 3.7 节）
E-UTRA 的测量报告移动性	MeasurementReport（UL） MobilityFromEUTRA Command（DL）	DCCH（SRB1） DCCH（SRB1）	报告测量结果（见 3.9 节） 使用另一个 RAT 移动到一个小区，如 GERAN、UTRAN 和 CDMA2000（见 3.11 节）
从 E-UTRA 切换的准备请求（CDMA2000）	HandoverFromEUTRAPreparationRequest（DL）	DCCH（SRB1）	移动至 CDMA2000 的准备（见 3.11 节）

（续）

过 程	消 息	逻辑信道	目 的
UL 移交准备传输	ULHandoverPreparationTransfer（UL）	DCCH（SRB1）	在 HandoverFrom 上转移 CDMA 专门信息（见 3.11 节）
RRC 连接重建	RRCConnection ReestablishmentRequest（UL）	CCCH（SRB0）	通过重建一个 RRC 连接用来恢复在无线接口的失败的连接（见 3.10 节）
	Ⓢ RRCConnection Reestablishment（DL） Ⓕ RRCConnection ReestablishmentReject（DL） Ⓢ RRCConnection ReestablishmentComplete（UL）	DCCH（SRB1）	
RRC 连接释放	RRCConnectionRelease（DL）	DCCH（SRB1）	脱离 RRC 连接（见 3.12 节）

RRC 消息要求有一个响应消息，响应 RRC 消息包含一个 RRC 交互识别符号。交互识别符用来识别 RRC 消息属于哪一个 RRC 过程。

3.2 系统信息

系统信息为处于 RRC_IDLE 和 RRC_CONNECTED 状态的 UE 提供必要的信息，像小区接入信息和公共无线资源配置信息。系统信息也包括只用于 RRC_IDLE 状态 UE 的信息，例如，小区选择和小区重选信息。系统信息通过 RRC 消息进行广播。

在尝试接入小区时，UE 必须含有系统信息。在小区选择和重选，完成切换后，从覆盖范围外回到覆盖范围内时，UE 也需要包含系统信息，在接收到一个通知后，系统信息将会改变等。

在 RRC 层，系统信息包含一定数量的信息块。信息块有几种类型，在表 3.3 中进行了描述。在这些信息块中，包含主要基本信息和频繁传输的系统信息称为管理信息块（Master Information Block，MIB），除此之外的其他信息块称为系统信息块（System Information Block，SIB）。

值得注意的是，SIB9SIB13 没有在表 3.3 中列出，SIB9 在 9.3 节 HeNB 部分中描述；SIB10 ~ SIB12 在 10.4.1 节 PWS 部分中描述；SIB13 在 11.5.2 节 MBMS 部分中描述。

3.2.1 配置系统信息

为了传输系统信息库，每一个信息块映射为以下 3 种信息块之一：MIB、系统信息类型 1（SIB1）和系统信息，如图 3.1 所示。

表 3.3　LTE 中系统信息的总结（除 SIB9 ~ SIB13）

类型	主 要 内 容	传输信道	可用的 RRC 状态
MIB	DL 带宽，系统框架数	BCH	RRC_IDLE 和 RRC_CONNECTED
SIB1	小区接入相关数据，系统信息值标记其他系统信息的调度	DL-SCH	RRC_IDLE 和 RRC_CONNECTED
SIB2	常见无线资源配置，AC 禁止信息，UL 载频和带宽，MBSFN 子帧配置	DL-SCH	RRC_IDLE 和 RRC_CONNECTED
SIB3	同频异频及 RAT 间的公共小区重选信息，除邻小区信息之外的同频小区重选参数	DL-SCH	仅 RRC_IDLE
SIB4	用于同频小区重选的邻小区信息	DL-SCH	仅 RRC_IDLE
SIB5	其他用于异频小区重选的 E-UTRA 频率和邻小区信息	DL-SCH	仅 RRC_IDLE
SIB6	用于 FFD 和 TDD 的 UTRA 频率，用于 UTRA 的 RAT 间小区重选信息	DL-SCH	RRC_IDLE UE 支持 UTRAN
SIB7	用于 GERAN 的 GERAN 频率 RAT 间小区重选信息	DL-SCH	RRC_IDLE UE 支持 GERAN
SIB8	用于 CDMA2000 的 CDMA2000 频率，RAT 间小区重选信息	DL-SCH	RRC_CONNECTED UE 支持 CDMA2000

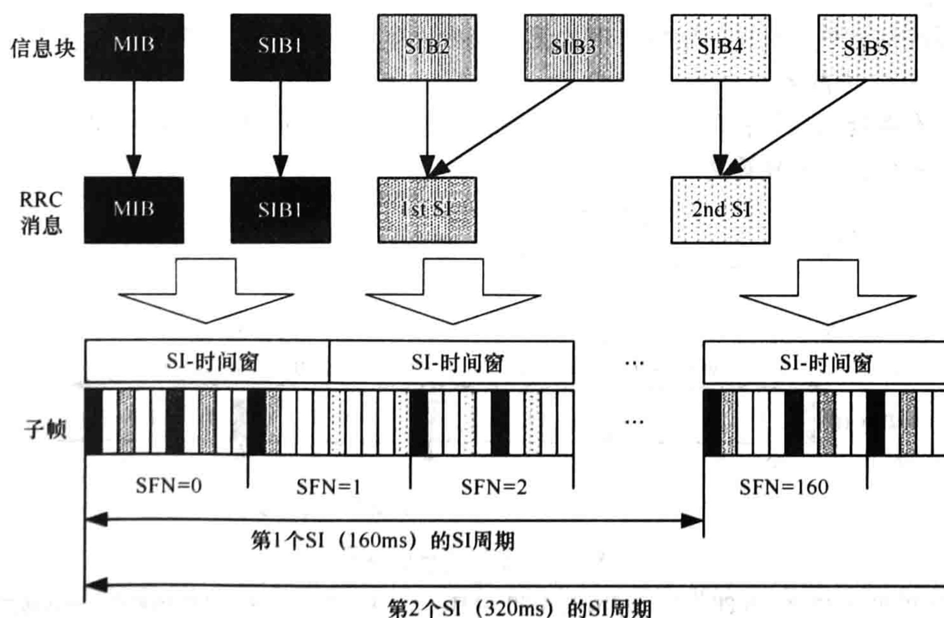


图 3.1　系统信息调度的一个例子

MIB 用来装载 MIB 消息。MIB 消息是唯一能在广播信道（Broadcast Channel,

BCH）中传输的 RRC 消息，因为这由特定的配置和固定的资源提供。

除去 SIB1，所有的 SIB 都被装载在系统信息（System Information，SI）消息中。SI 消息在下行同步信道（DownLink-SynchronizationChannel，DL-SCH），因为需要提供信道重配置和灵活的分配。

装载其他的 SIB 与 SIB1 不同，它具有灵活性并且受 SIB1 的指示。UE 需要获得 SIB1 才能知道其他的 SIB 在相关的小区是如何分配的。在同一个时间周期内，每个 SIB 消息都包含在单独的 SI 消息中，然后一个单独的 SI 消息可以包含多个 SIB 消息期。一个时间周期能同时传输多个 SI 消息。

时间域的 MIB 和 SIB1 调度是固定的。MIB 被安排在一个周期为 40ms 的时间内，并且每 10ms 重复一次。SIB1 被安排在一个周期为 80ms 的时间内，并且每 20ms 重复一次。

SI 消息的调度是动态的。SI 消息在被称为"SI 时间窗"的周期时间窗发送。每个 SI 消息与一个 SI 时间窗对应，不同的 SI 消息在不同的 SI 时间窗广播，具有连续性且不会发送重叠。在一个 SI 时间窗内，只有相对应的 SI 消息能被发送多次。

当 SIB1 和 SI 消息在 DL-SCH 广播时，相关的物理下行控制信道（PDCCH）使用一个单独的系统信息无线网络临时标识（System Information-Radio Network Temporary Identity，SI-RNTI）来处理小区内的 SIB1 和 SI 消息。在一个 SI 窗口内，UE 在 PDCCH 解码 SI-RNTI 以获得相关 SI 窗口的详细系统分配信息。

3.2.2 系统信息更新

系统信息更新只在周期性出现的无线帧中发生。系统信息更新的周期称为修改周期，在 SIB2 中配置。

当有系统信息更新请求时，在发送新的系统信息前，eNB 先需要通知 UE。图 3.2 解释了系统信息更新算法。

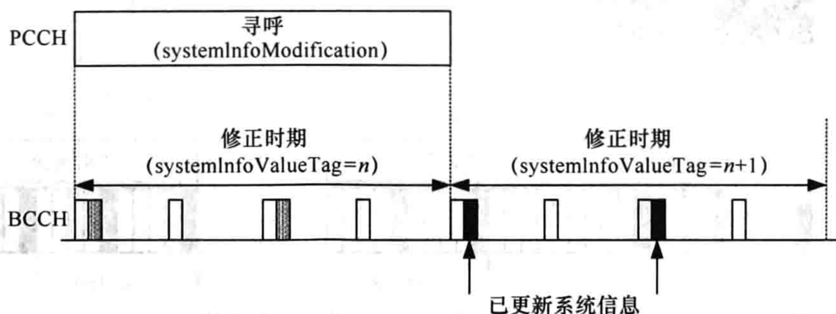


图 3.2 系统信息的修改

当新的系统信息在第 $n+1$ 个修改周期发送时，在第 n 个修改周期通过含 systemInfoModification 的寻呼消息，UE 收到通知，也就是说，意味着系统信息修改。

如果 UE 接收到包含 systemInfoModification 的寻呼消息，它知道系统信息将在下一个修改周期开始时发生改变。那么不论处于 RRC_IDLE 还是 RRC_CONNECTED，UE 都被要求监视包含 systemInfoModification 的寻呼消息。

寻呼消息仅预示着系统信息的改变，而关于哪个系统信息块将发生改变的详细信息却不知道。因此，在接收到寻呼消息时，UE 应该读取下一个周期传送的所有要求的系统信息。值得注意的是，要求的系统信息根据 UE 处于 RRC_IDLE 和 RRC_CONNECTED 不同状态是不同的。在读取所有要求的系统信息之后，UE 将用整个新的系统信息替代旧的系统信息。在 UE 更换系统信息之前，UE 仍使用旧的系统信息。

除了系统信息更新机制之外，标签值（SIB1 中广播的 systemInfoValueTag）能用来通知 UE 系统信息的改变。如果需要发送新的系统信息，eNB 通过给标签值一个增量以通知 UE 系统信息将改变。当一个 UE 从非服务区返回服务区，例如因为 UE 处于非覆盖范围，它可以通过比较新获得的标签值和 UE 先前保存的旧标签值，来判定先前保存的 SI 信息是否有效。值得注意的是，标签值随着 SI 信息中的 SIB 的改变而改变，这意味着 MIB 或者 SIB1 的改变不会影响标签值。

3.3 寻呼

寻呼过程的作用是通知处于 RRC_IDLE 状态的 UE 有一个新来电。当 MME 要求 eNB 寻呼某个 UE 时，属于这个 eNB 的 RRC 就开始寻呼过程。就如 3.2 节所述，RRC 也利用寻呼过程来通知 UE 关于系统信息的修改，无论 UE 处于 RRC_IDLE 还是 RRC_CONNECTED 状态。

当 UE 连接到 EPC 以获得 EPS 服务时，UE 进入 EEM_REGISTERED 状态。在这个状态，UE 注册到了 MME 中，并且 UE 的位置对于 MME 是已知的，因此，MME 能够寻呼 UE。

当 UE 处于 EMM_REGISTERED 状态，如果 UE 还处于 ECM_IDLE 状态，则 MME 只能知道 UE 大体位置，其精确度限制在跟踪区域列表内，就如 2.5 节所述。因此，MME 必须向 UE 注册的该系列跟踪区域内的所有 eNB 发送一个寻呼消息，该寻呼消息通过使用一个 S1 AP 消息完成，如图 3.3 所示。另一方面，如果 UE 处于 ECM_CONNECTED 状态，MME 不需要专门利用在 S1 应用接口协议（S1 Application Protocol，S1AP）和 RRC 层的寻呼过程，因为 MME 知道具体是哪一个 eNB 在为 UE 提供服务。

图 3.3 展示了寻呼过程如何触发 RRC 连接的建立。当服务网关（Serving GateWay，S-GW）接收到给 UE 的下行数据包时，如果 UE 处于 EMM_REGISTERED 和 ECM_IDLE 状态时，则 MME 将通过 S1 接口向该 UE 注册的跟踪区域内所有 eNB 发送一个寻呼消息。eNB 收到来自 MME 的寻呼消息后，eNB 的 RRC 通过 Uu 接口向 UE 发送寻呼消息。

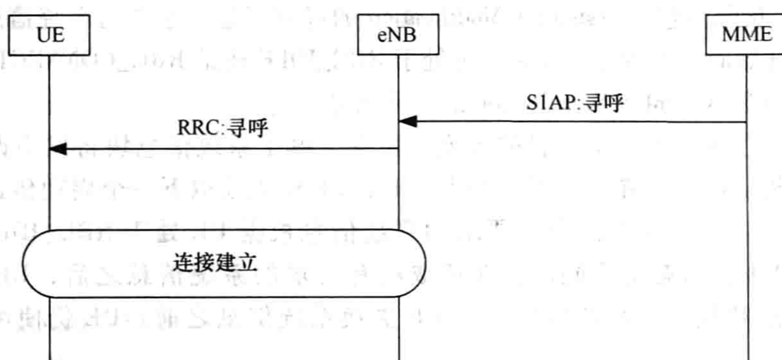


图 3.3 RRC 连接建立中的寻呼

处于 RRC_IDLE 的 UE 必须在给 UE 分配的寻呼时段监视着寻呼消息。寻呼消息包含有一个或多个 UE 被寻呼的身份，这些身份可以是系统架构演进临时移动用户身份（System Architecture Evolution Temporary Mobile Subscriber Identity，S-TMSI），也可以是国际移动用户识别码（IMSI）。在接收到发送给 UE 的寻呼消息时，UE 中的 NAS 层将尝试向 MME 发送服务请求信息。这个来自 NAS 层的服务请求信息将触发 AS 层建立一个 RRC 连接，然后 UE 中的 RRC 将开始 RRC 连接建立过程。

eNB 并不利用寻呼过程来寻呼处于 RRC_CONNECTED 状态的 UE，而是利用寻呼过程来通知该状态的 UE 系统信息将被修改。因此，为了能够知道系统信息是否将改变，无论处于 RRC_CONNECTED 还是 EEC_IDLE 状态，UE 都必须监视寻呼消息。值得注意的是，当 UE 处于 RRC_CONNECTED 状态时，它可以在任何寻呼时段来监视寻呼消息。

另外，寻呼过程能用来在 BCCH 广播预示警报通知。寻呼过程的警报通知预示，对于处于 RRC_CONNECTED 和 RRC_IDLE 的 UE 都有效。如何通过寻呼消息监视警报通知预示将在 10.4 节解释。

3.4 连接建立

当 UE 中的 NAS 请求建立一个 RRC 连接时，UE 中的 RRC 将开始 RRC 连接建立过程。为了建立 UE 和 MME 之间的 NAS 信令连接，UE 中的 NAS 可以请求建立一个 RRC 连接，通过发送一个初始的 NAS 消息，比如连接请求、跟踪区域更新请求、断开请求、服务请求或者扩展服务请求。

当收到来自 NAS 的请求时，UE 中的 RRC 将开始 RRC 连接建立过程。如图 3.4 所示，一个 RRC 连接过程包含以下步骤：应用访问类限制，发送 RRCConnectionRequest 消息，接收 RRCConnectionSetup 消息，发送 RRCConnectionSetupComplete 消息。

3.4.1 步骤 1：应用访问类限制

在一些非正常条件（如网络过载）下，对一些 UE 的接入尝试进行限制是很有必

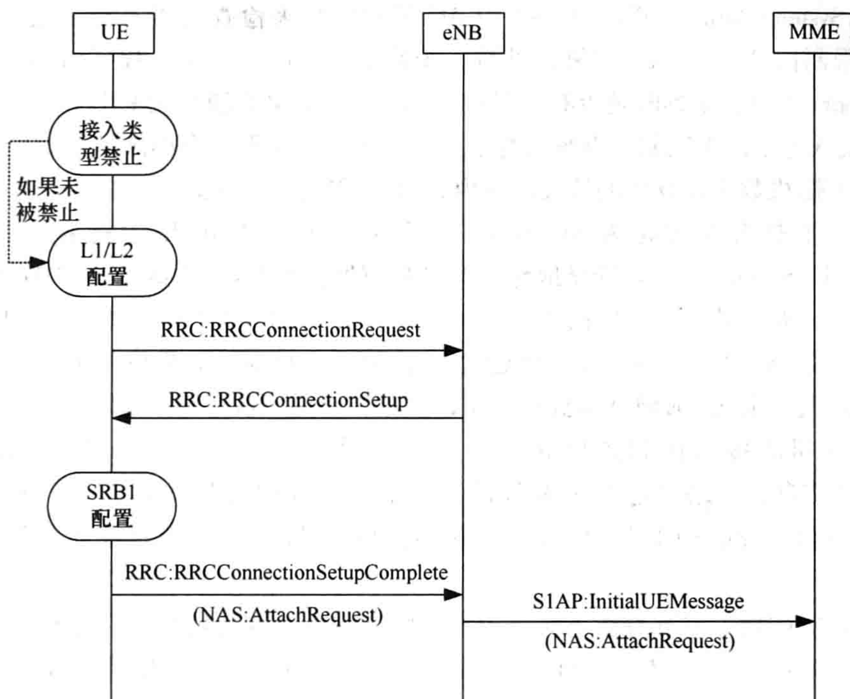


图 3.4　RRC 连接建立过程吸附带请求消息（成功实例）

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

要的。接入类限制（ACB）算法允许网络通过无线接口控制 UE 的接入尝试。ACB 算法在小区和 SIB2 中广播的 ACB 参数的基础上实现。在 RRC 的连接建立过程，UE 实现 ACB 算法必须考虑如下条件：

1）UE 属于一个或多个接入类；

2）由系统信息提供的 AC 限制信息；

3）UE 建立 RRC 连接的原因。

对于任意一个 UE，AC 被分配为 10 种 AC（AC0，…，AC9）中的一种。另外。高优先级的 AC（AC11，…，AC15）被分配给高优先级用户，像公共陆地移动网络（Public Land Mobile Network，PLMN）职员和公共事业用户。AC10 被分配给紧急接入尝试。

一个小区可以通过广播 AC 限制信息来控制接入尝试；所谓 AC 限制信息是指在 SystemInformationBlockType2 中的 ac-BarringInfo。AC 限制信息包含不同的 AC 限制配置，这些配置是关于移动发起信令和移动发起数据的，即 ac-BarringForMO-Signaling 和 ac-BarringForMo-data。每一个 AC 限制配置包含一个限制因素（例如，ac-BarringFactor）、一个限制时间（例如，ac-BarringTime）、一个位串表示 AC 优先级（ac-BarringForSpecia-lAC）。

对于一个没有高优先级 AC 的 UE，当此 UE 尝试向一个小区建立一个 RRC 连接时，

它通过在 SystemInformationBlockType2 中 AC 限制信息来检查是否有权限接入该小区。如果 AC 限制信息已知，UE 将随机获取一个数字，然后比较这个数字和 AC 限制因素（ac-BarringFactor），来判断是否有权限接入该小区。如果此随机数字小于 ac-BarringFactor，UE 就认为小区未限制，否则认为小区限制连接。如果一个小区是限制连接的，在限制时间和随机数字计算出的持续时间内，UE 不能接入此小区。

对于一个具有高优先级 AC 的 UE，网络可以利用 AC 限制配置的一个位串（ac-BarringForSpecialAC）有选择地允许那些 UE 的特定接入。这些位串和 AC 的高优先级之间是一一对应的，位串中的每一位均决定了相对的 AC（AC11，…，AC15 中的一个）是否被限制。当 UE 向一个小区建立一个 RRC 连接时，如果位串中至少有 1bit 表示未限制连接，那么 UE 将认为此小区可以连接，否则，认为小区是限制连接。

紧急呼叫的接入控制是独立于其他类型呼叫的。通过 SystemInformationBlockType2 中的信息，网络决定了 ACB 算法是否对紧急呼叫有效。对于一个进行紧急呼叫的 UE，这种情况下 UE 是允许建立 RRC 连接的，除非 ACB 算法在此小区对紧急呼叫有效。

值得注意的是，ACB 算法不应用于移动终端呼叫，因为网络可以通过寻呼消息来控制移动终端的接入尝试。然而，如果先前来自 UE 的 RRC 连接请求被 RRCConnectionReject 消息拒绝，或者 UE 认为是小区限制连接时间的等待时间，一个移动终端呼叫可能被小区限制。

3.4.2 步骤 2：发送 RRCConnectionRequest 消息

如果小区在步骤 1 中未限制连接，UE 就可以发送 RRCConnectionRequest 消息。因为 RRCConnectionRequest 消息是通过 SRB0 发送的，RRC 将根据特定的 CCCH 配置信息来配置低层。在配置完成之后，UE 开始发送 RRCConnectionRequest 消息，包括 UE 身份和 RRC 连接建立原因。

在 RRCConnectionRequest 消息中，UE 使用 S-TMSI 作为 UE 身份，如果在 RRC 连接建立过程 NAS 赋给 UE 一个 S-TMSI。如果 S-TMSI 未被提供，UE 将从 $0 \sim 2^{40-1}$ 之间随机取一个数字作为 UE 的身份。

当 UE 中的 NAS 请求建立一个 RRC 连接时，NAS 将表明 RRC 连接建立的原因。建立 RRC 连接的原因表明了 UE 要建立 RRC 连接的理由，例如，移动发起数据，移动发起信令，紧急呼叫，或者高优先级接入。

为了发送 RRCConnectionRequest 消息，UE 中的 MAC 层将进行随机接入过程。在随机接入过程期间，成功接收到随机接入响应后，UE 将发送 RRCConnectionRequest 消息。如何进行随机接入过程将在 6.9 节中解释。

需要注意的是，小区重选的测量和估计将持续到 UE 接收到 RRCConnectionSetup 消息。在随机接入过程中，当 UE 重选小区时，UE 中的 RRC 层将通知 NAS 关于 RRC 连接建立过程失败的消息。

3.4.3　步骤 3：接收 RRCConnectionSetup 消息

当 eNB 接收到来自 UE 的 RRCConnectionRequest 消息时，eNB 将决定是否接收 RRC 连接建立请求。如果 eNB 决定接收该请求，它会向 UE 发送一个 RRCConnectionSetup 消息。这个 RRCConnectionSetup 消息包括应用于 UE 进行 SRB1 配置的专用无线资源配置。

当 UE 接收到 RRCConnectionSetup 消息时，UE 将应用此消息中包含的配置，并进入 RRC_CONNECTED 状态。因为 UE 从这个时间点进入 RRC_CONNECTED 状态，UE 将停止小区重选过程。

RRCConnectionReject 消息包括等待时间。当 UE 接收到一个 RRCConnectionReject 消息，UE 将启动一个倒计时，时间就是这个等待时间。在倒计时结束之前，UE 是不能接入小区的。

3.4.4　步骤 4：发送 RRCConnectionSetupComplete 消息

为了对 RRCConnectionSetup 消息做出响应，UE 将向 eNB 发送一个 RRCConnectionSetupComplete 消息。在发送 RRCConnectionSetupComplete 消息之前，UE 需要根据 RRCConnectionSetup 消息中无线资源配置对 SRB1 进行配置。RRCConnectionSetupComplete 消息是通过 SRB1 进行发送的。

一个小区可能广播多个 PLMN 以支持无线接入网（RAN）共享。在与广播多个 PLMN 的小区建立一个 RRC 连接时，在 RRCconnectionSetupComplete 消息中，UE 将通过上层表明 PLMN 身份，作为 PLMN 选择过程的结果（见 2.4 节）。

还有，RRCconnectionSetupComplete 消息包含一个初始的被发送到 MME 中的 NAS 消息和 NAS 消息的路由选择信息。如果 UE 先前已经注册到某个 MME 中，那么 UE 将含有一个对应于该 MME 的全球唯一 MME 身份（Global Unique MME Identity，GUMMEI）。eNB 可能使用这个 GUMMEI 来路由 NAS 消息到 GUMMEI 对应的 MME。

这个初始的 NAS 消息触发 MME 开始初始上下文环境建立过程——在 MME 和 eNB 之间建立一个 S1 连接和 eNB 中的 UE 上下文环境。当通过 eNB 接收到这个来自 UE 的初始 NAS 消息时，MME 将向 eNB 发送 Initial Context Setup Request 消息并包括 UE 相关信息。这个经过 S1 接口的初始上下文环境建立过程关联着初始 AS 安全激活与专用无线承载（Dedicated Radio Barring，DRB）和 SRB2 的建立。这个 Initial Context Setup Request 消息可以包含 UE 无线接入能力信息。

3.5　安全

安全功能提供了完整保护和加密。完整保护防止用户数据和信令被以未授权的方式修改，加密提供了用户数据和信令的保密性。

UE 和网络之间有两个等级的安全。

1）AS 安全：AS 安全用来保护 UE 和 E-UTRAN 之间的 RRC 信令和用户数据。在无

线协议的控制层平面，它提供了 RRC 信令的完整保护和加密。在无线协议的用户平面，它也提供了用户数据的加密。RRC 中的安全模式命令过程被用来激活 UE 和 E-UTRAN 之间的 AS 安全。

2）NAS 安全：NAS 安全用来保护 UE 和 MME 之间的 NAS 信令。它提供了 NAS 信令的完整保护和加密。NAS 中安全模式命令过程用来激活 UE 和 MME 之间的 NAS 安全。

UE 和网络之间的安全功能是基于一个叫 K_{ASME} 的密钥。K_{ASME} 来自存储在全球用户识别卡（Universal Subscriber Identity Module，USIM）和归属用户服务器（HSS）。MME 接收来自 HSS 的 K_{ASME}。NAS 中的认证与密钥协商（Authentication and Key Agreement，AKA）过程使 UE 得到 K_{ASME}。在 AKA 过程中，UE 和网络在 K_{ASME} 基础上实现相互认证和协商。

图 3.5 表示了如何从 K_{ASME} 中获得用来保护信令和用户数据的密钥。UE 和 MME 利用 K_{ASME} 得到用来为 NAS 消息提供完整加密的密钥 K_{NASint} 和用来为 NAS 消息提供安全加密的密钥 K_{NASenc}。UE 和 eNB 从 K_{ASME} 获得用来保护信令和用户数据的密钥 K_{eNB}，该信令及用户数据在 UE 和 eNB 之间的 Uu 接口传输。在 K_{eNB} 中，UE 和 eNB 进一步获得为 RRC 消息提供完整保护的密钥 K_{RRCint}、为 RRC 消息提供安全加密的密钥 K_{RRCenc} 和为用户数据提供安全加密的密钥 K_{UPenc}。

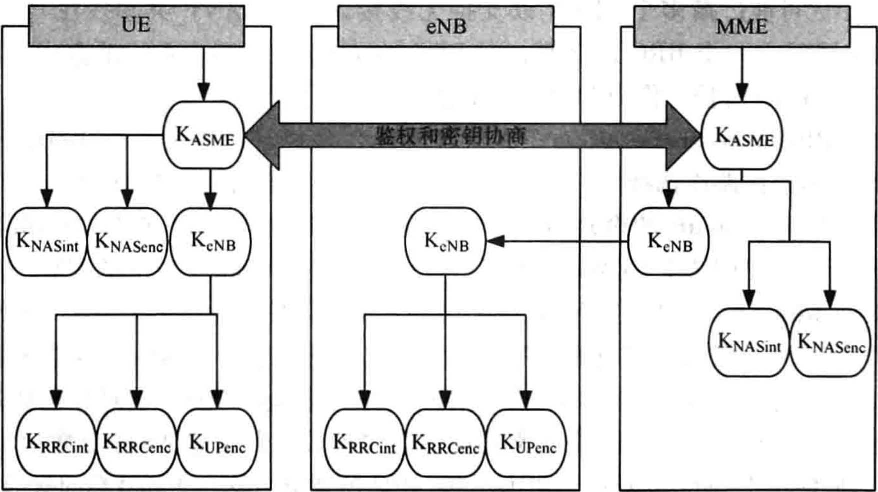


图 3.5　非切换 AS 安全的和 NAS 安全的密钥获取

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

在每次切换和连接重建时，这 4 个 AS 密钥（K_{eNB}、K_{RRCint}、K_{RRCenc}，K_{UPenc}）都会随之改变。对于从源 eNB 到目标 eNB 的切换，UE 和源 eNB 获得密钥 K_{eNB*}，K_{eNB*} 是在目标小区使用的新的 K_{eNB} 密钥。其他 AS 密钥——K_{RRCint}、K_{RRCenc} 和 K_{UPenc} 从 K_{eNB*} 获得。K_{eNB*} 是在 UE 和 eNB 中当前的 K_{eNB} 或者新的下一跳（Next Hop，NH）的基础上获得。

物理小区 ID 和目标小区的下行连接承载频率也是为获得 K_{eNB*} 服务的。NH 是在 UE 和 MME 中从 K_{ASME} 得到的。eNB 从 MME 中接收到 NH，从而获得用于切换的密钥 K_{eNB*}。在 RRC_CONNECTED 状态，一个小区内部切换过程可能被用来改变 AS 密钥（见 3.8 节）。

在 MME 完成通过 S1 接口的初始文件建立过程之后，eNB 开始激活 AS 安全。在初始上下文环境建立过程，MME 通知 eNB，在 AS 密钥获得过程中直接由 K_{ASME} 得到的 K_{eNB}，以及 UE 支持的完整保护和加密算法。因此，在接收到 K_{eNB} 和来自 MME 的算法后，eNB 可以开始和 UE 一起激活 AS 安全。

对于 AS 安全的初始激活，在 RRC 连接建立过程完成之后，eNB 将发送 SecurityModeCommand 消息，表示对 UE 执行完整保护算法和加密算法。完整的 AS 安全激活过程将在图 3.6 中展示。

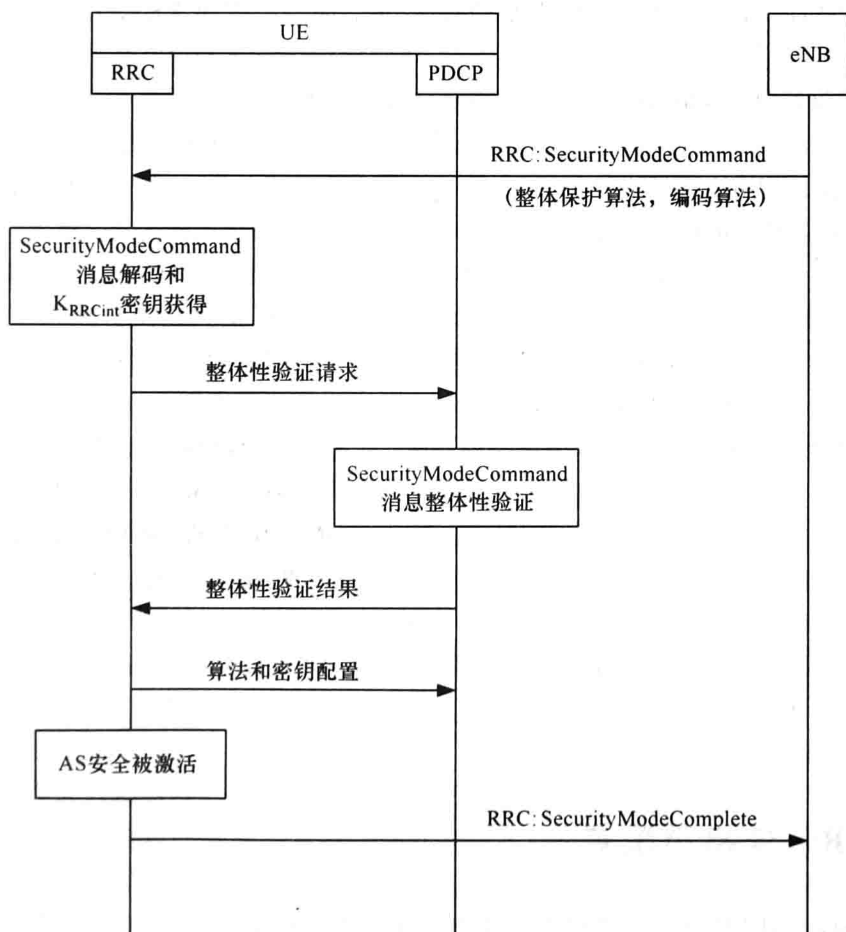


图 3.6　AS 安全的初始激活

在配置 PDCP 层以实现完整保护前，UE 的 RRC 层将接收到 SecurityModeCommand 消息。因此，在接收到 SecurityModeCommand 消息时，RRC 层将获得 K_{RRCint}，K_{RRCint}利用某种算法对 RRC 消息进行完整保护，而这种算法是从 SecurityModeCommand 消息获得的。然后，RRC 层将请求 PDCP 层检验 SecurityModeCommand 消息的完整性，利用前面获得的算法和密钥 K_{RRCint}。

值得注意的是，SecurityModeCommand 消息是具有完整保护的，即使是在 UE 的 AS 安全未激活情况下。这是因为 UE 可以利用包含在此消息中的算法检验此消息的完整性。然而，加密功能在 SecurityModeCommand 消息中未能实现，因为在此消息中加密算法应用之前，UE 无法解码此消息。

如果 UE 未能成功验证 SecurityModeCommand 消息的完整性，它将向 eNB 发送一条 SecurityModeFailure 消息，以对 SecurityModeCommand 消息做出响应。在这种情况下，SecurityModeCommand 既没有完整保护也没有安全加密，因为 UE 中没有可用的有效算法。

如果接收到的 SecurityModeCommand 消息通过了 PDCP 中的完整性验证，UE 中的 RRC 层将进一步获得 K_{RRCenc}和 K_{UPenc}。RRC 层配置 PDCP 层，利用完整保护算法和密钥 K_{RRCint}，以实现完整保护；利用加密算法和 K_{RRCenc}、K_{UPenc}，以实现安全加密。然后，UE 将认为 AS 安全已激活，UE 接收和发送的所有后来的 RRC 消息都具有完整保护和安全加密。

当 AS 安全被激活时，UE 将向 eNB 发送一个 SecurityModeComplete 消息，以对 SecurityModeCommand 消息做出响应。SecurityModeComplete 消息是具有完整保护的，但是没有加密。不对 SecurityModeComplete 消息加密的原因是在发送两种不同的响应消息即 SecurityModeFailure 消息和 SecurityModeComplete 消息的情况下（均未加密），eNB 不需要解密就可以很容易解码响应消息，而不管 UE 中的安全激活是否成功。

在 AS 安全激活后，eNB 将建立 SRB2 和 DRB。eNB 在 AS 安全激活时是不建立 SRB2 和 DRB 的。一旦 AS 安全被激活，所有通过 SRB1 和 SRB2 的 RRC 消息都具有完整保护和安全加密，所有通过 DRB 的用户数据都在 PCDP 层加密。然而，SRB0 中的 RRC 消息既不具有完整保护，也不具有安全加密。

信令无线承载 SRB1 和 SRB2 的完整保护算法是公用的，所有的无线承载（例如 SRB1、SRB2 和 DRB）的加密算法都是公用的。完整保护和安全加密算法只能在切换的时候进行修改。

3.6　RRC 连接重配置

eNB 触发 RRC 连接重配置过程可能因为如下几个原因：

1）建立和重配置 SRB2 和一个或者多个 DRB；

2）切换；

3）配置测量。

RRC 连接重配置过程用来建立 SRB2 和 DRB。此过程也用于修改或释放已建立的

无线承载。值得注意的是，SRB2 和 DRB 的建立只能在 AS 安全激活之后。在 UE 进入 RRC_CONNECTED 状态之后，UE 中至少一个 DRB 需要配置，用于交换用户流量。

RRC 连接重配置过程也用于切换。在这种情况下，移动控制信息（Mobility Control Information，MCI），即 mobilityControlInfo，包含在 RRCConnectionReconfiguration 消息中。此外，这个过程能被用于 LTE 内/RAT 间的配置测量。

应该注意的是，为了防止重配置失败的情况（例如，UE 无法按照 RRCConnection-Reconfiguration 消息中的任何配置信息工作时）出现，如果安全已激活，UE 将进行 RRC 连接重建过程；如果安全未激活，UE 将进入 RRC_IDLE 状态。

3.6.1 SRB2 的建立

对于 SRB2 的建立，eNB 包含在 RRCConnectionReconfiguration 消息中用于配置 SRB2 的必要参数，在 SRB2 建立之后，NAS 信息都是从 SRB2 中传输的。在 SRB2 未被建立的情况下，例如，在 UE 进入 RRC_CONNECTED 状态后第一次 RRC 连接重配置过程，NAS 通过 SRB1 传输。需要注意的是，如果 UE 的 RRC 层接收到 NAS 信息时，它不会对 NAS 进行任何处理，而是直接传送到 NAS 层。

3.6.2 DRB 的建立

为了提供一个用户平面服务，eNB 需要为 UE 建立至少一个或多个 DRB。对于 DRB 的建立过程，eNB 在 RRCConnectionReconfiguration 消息中提供专用无线资源配置。无线资源配置的范围包括 PDCP、RLC、MAC 和 PHY 层的配置。一个 UE 能够配置的最大 DRB 数是 8。

包含在 RRCConnectionReconfiguration 消息中的参数是在从 MME 获得的初始上下文环境建立请求消息的基础上由 eNB 决定的。初始上下文环境建立请求消息包含一系列的演进的无线接入承载（Evoluted Radio Access Bearer，E-RAB），eNB 申请这些 E-RAB 来为 UE 配置 DRB。对于那些 MME 的所有 E-RAB 请求，eNB 可能不会配置 DRB，例如无线资源严重不足。因此，eNB 通知 MME 已成功建立的一系列 E-RAB，建立失败的 E-RAB 将通过初始上下文环境建立响应消息，在 S1 接口传输。

3.6.3 与安全激活平行的过程

eNB 允许进行初始安全激活过程和 RRC 连接重配置工程并行进行，以加速完成此过程。换句换说，eNB 允许在接收到 SecurityModeCommand 消息之前发送 RRCConnectionReconfiguration 消息，如图 3.7 所示。因为，eNB 对 RRCConnectionReconfiguration 消息进行了完整保护和加密，UE 的 PDCP 层只能在 UE 根据同时存在的 SecurityModeCommand 消息进行 AS 安全激活后，才可以解密 RRCConnectionReconfiguration。

如果这个并行过程通过单独的 S1 AP 过程触发，那么安全激活和 RRC 连接重配置过程都应该成功完成。如果其中任意一个过程失败，eNB 将认为 S1 AP 过程失败，接着 eNB 将通过向 UE 发送一个 RRCConnectionRelease 消息，释放 RRC 连接。

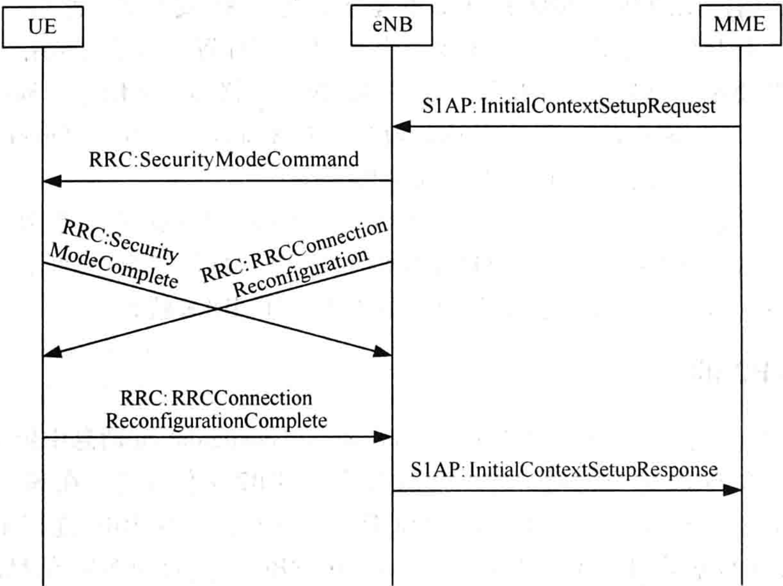


图 3.7 并行的初始 AS 安全激活和 RRC 连接重配置

3.7 UE 能力信息传输

对于一个处于 RRC_CONNECTED 状态的 UE，为了合适地配置 UE 以获得服务，eNB 应该精确地了解此 UE 的能力信息。通常地，MME 存储 UE 的能力信息，包括 UE 的无线接入能力信息和 UE 核心网能力信息。UE 核心网能力是由 UE 根据 NAS 信令决定的，例如在附着过程中的 UE 无线接入能力信息，通过 RRC 的 UE 能力传输过程，从 UE 传输到 eNB，然后通过 S1 接口递送到 MME。无论 UE 何时进入 RRC_CONNECTED 状态，如果可行的话，MME 均将为 eNB 提供 UE 无线接入能力。

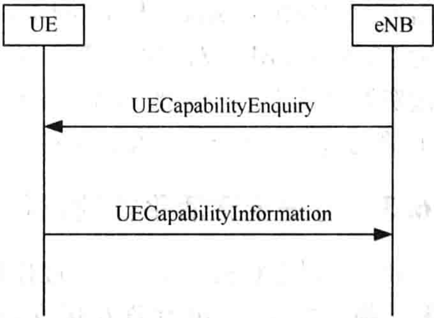


图 3.8 UE 能力信息传输

当 UE 无线能力不可用或出现新的回收请求时，MME 可能会触发 eNB 发出回收 UE 无线接入能力请求。当接收到一个 UE 无线接入能力回收请求时，eNB 将触发 UE 能力信息传输过程，如图 3.8 所示。

eNB 通过向 UE 发送一个 UECapabilityEnquiry 消息请求 UE 无线接入能力信息。在这个消息中，eNB 决定了使用哪种无线接入技术类型（Radio Access Technology-Type，rat-Type），也就是说，来自于 UE 的一种或多种 RAT 的 UE 无线接入能力请求。这种

rat-Type 能在 E-UTRA、UTRA、GERAN CS、GERAN PS 或 CDMA2000 中使用。为了实现 RAT 间的移动切换；eNB 将利用其他 RAT 的 UE 无线接入能力。在接收到 UECapabilityEnquiry 消息后，UE 将以一条 UECapabilityInformation 消息做出响应，这条 UECapabilityInformation 消息中包含了由 rat-Type 决定的 RAT 的 UE 无线接入能力。

一般地，我们假定当 UE 附着在 EPC 时，UE 无线接入能力信息不会发生动态改变。如果 UE 对 E-UTRA 的无线接入能力改变了，UE 将进行分离和重新附着以更新相关的网络信息。为了更新非 E-UTRAN 的 RAT 的 UE 无线接入能力，可以触发 UE 能力传输过程。

3.8　EUTRA 内切换

当 UE 处于 RRC_IDLE 状态时，使用基于 UE 的移动性，对处于 RRC_IDLE 状态的 UE，通过小区选择和重选过程决定 UE 何时何地进行移动。因为 eNB 没有处于 RRC_IDLE 状态下 UE 的上下文环境信息，eNB 无法直接处理处于 RRC_IDLE 的 UE 的移动性。尽管网络提供了小区选择和重选信息，例如，通过系统信息和 RRCConnectionRelease 消息，处于 RRC_IDLE 的 UE 移动性依然由 UE 内在地进行处理。

另一方面，当 UE 处于 RRC_CONNECTED 状态时，有网络控制的移动性将被使用，此时由 eNB 决定处于 RRC_CONNECTED 的 UE 何时何处进行移动。在移动性被需要时，如果 eNB 配置 UE 来发送测量报告，UE 可以协助网络控制的移动性。在没有来自 UE 的测量报告的情况下，eNB 也可能盲目地进行移动性控制。值得注意的是，对于 RRC 连接重建过程，UE 基础上的移动性将被启用，即使在 RRC_CONNECTED 状态下，也将进行小区选择。

值得注意的是，在 E-UTRAN 中，UE 只能连接到一个单独的小区。因为这个原因，E-UTRAN 不支持软切换，而在 UTRAN 中，软切换是支持的。在 EUTRA 内切换过程中，UE 从它的服务小区——所谓的源小区，跳转到一个相邻小区——所谓的目标小区。

EUTRA 内切换（例如，源小区和目标小区都是 LTE 小区时）能被进一步划分为 X2-based（基于 X2）切换和 S1-based（基于 S1）切换。X2-based 切换涉及在源 eNB 和目标 eNB 之间，X2AP 消息通过建立的 X2 接口通信。当切换后为 UE 提供的 MME 在切换后不发生改变时，X2-based 切换将被启用。X2-based 切换可能改变 UE 的 S-GW。当 X2-based 切换无法使用时，S1-based 切换将被启用。例如，当为 UE 提供服务的 MME 在切换后发生改变时，S1-based 切换将被启用。S1-based 切换也可能改变 S-GW，还可能改变 MME。X2-based 切换和 S1-based 切换通过无线接口的信令并无区别；相同的 RRC 过程也将在两种切换中启用，UE 行为也是相同的。在 X2-based 切换和 S1-based 切换中，只有源 eNB 和目标 eNB 之间网络信令是不同的，可能 CN node 也会不同。

一般地，切换过程包含以下 3 个阶段：切换准备、切换执行和切换完成。

3.8.1 切换准备

在 E-UTRAN 中，只有 UE 接入小区准备就绪等待切换，切换才能成功。因此，在 UE 执行切换到目标小区前，源 eNB 向目标 eNB 发出切换请求。源 eNB 和多个目标 eNB 进行切换准备。

在开始切换准备前，源 eNB 决定一个 UE 将进入的目标小区，也将决定何时将 UE 移动至选择的目标小区。作为源 eNB 需要做的切换决定的输入，UE 报告的测量结果将被使用。作为另外一个做出切换决定的输入，MME 可能提供一个切换限制列表，UE 和 eNB 根据这个列表限制候选目标小区的数目。

当做出一个切换决定时，源 eNB 也将决定启用 X2-base 切换还是 S1-based 切换。当源 eNB 决定使用 X2-based 切换时，源 eNB 将通过 X2 接口，向目标 eNB 发送一个切换请求消息，从而开始 X2-based 切换，如图 3.9 所示。当源 eNB 决定使用 S1-based 切换时，源 eNB 通过 S1 接口，向 MME 发送一条切换请求消息，从而开始 S1-based 切换。切换请求消息将触发 MME，通过向目标 eNB 发送一条切换请求消息，和目标 eNB 一起进行切换准备，如图 3.10 所示。

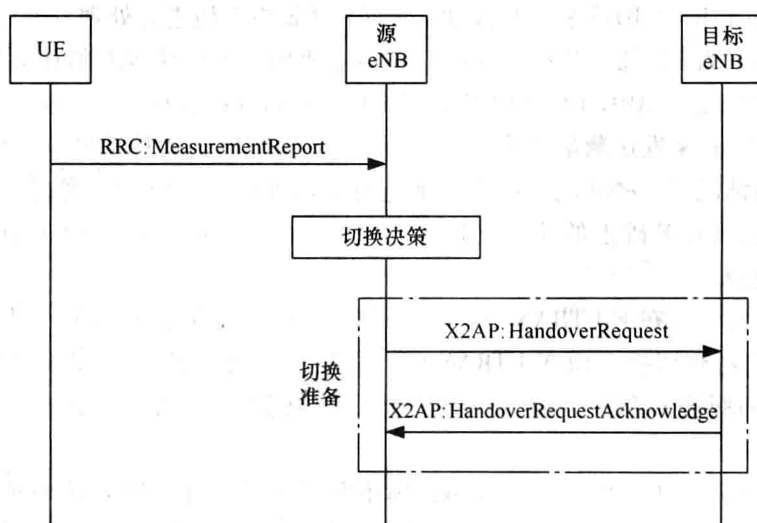


图 3.9　X2-based 切换的测量报告和切换准备

在切换准备过程中，源 eNB 将为 UE 向目的 eNB 发送站间 RRC 消息。站间 RRC 消息包括了相关 UE 的无线接入能力信息、在源 eNB 中使用的 RRC 配置信息、UE 特定的无线资源管理（RRM）信息。在切换过程中和切换过程完成后，目标小区利用接收到的信息配置 UE。然而，一些站间 RRC 信息可能无法被目标小区利用。

源 eNB 也可以将重建信息包含在站间 RRC 信息内发送给目标 eNB。重建信息是在 RRC 连接重建过程中需要的，重建过程可能发生在切换过程失败的情况下。

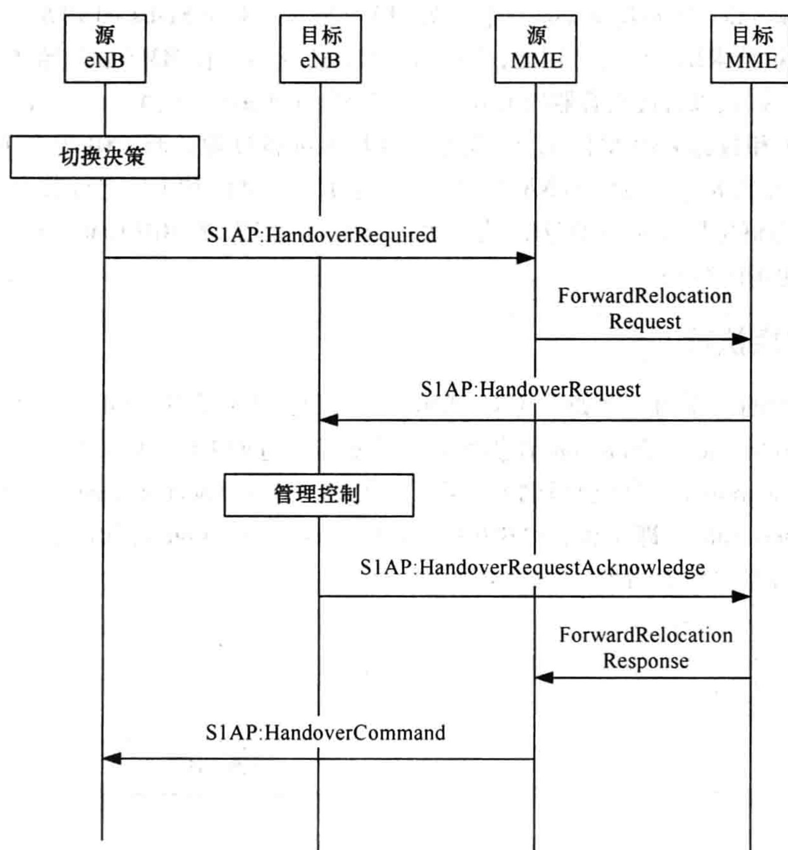


图 3.10　带 MME 重定位的 S1-based 切换准备

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

切换请求消息包括服务质量（QoS）和在目标小区设置的 E-RAB 的优先权信息。在接收到切换请求消息时，某些 E-RAB 在目标小区内可能不被许可，例如由于缺少无线资源或配置不支持。如果至少一个请求的 E-RAB 在目标小区内被许可，目标 eNB 将保留必要的资源，并向源 eNB 发送切换请求确认消息。值得注意的是，对于每一种被许可的 E-RAB，在切换执行阶段，数据转发都是支持的。对于切换执行中的数据转发，源 eNB 和目标 eNB 应该相互交换关于通用数据传输平台（General Data Transfer Platform，GTP）隧道的信息。

目标 eNB 发送的切换请求确认消息包含一个装载 RRCConnectionReconfiguration 消息的透明容器。RRCConnectionReconfiguration 消息由目标小区的 RRC 层产生，包含 UE 在目标小区使用的配置。对于 RRCConnectionReconfiguration 消息，目标 eNB 可以使用“δ 信令”，这就意味着与源 eNB 中的配置相比，只有配置中发送变化的部分，才作为信号在 RRCConnectionReconfiguration 消息中发送。

对于 X2-based 切换，目标 eNB 经过 X2 接口，通过切换请求确认消息，直接向源 eNB

发送 RRCConnectionReconfiguration 消息，如图 3.9 所示。对于 S1-based 切换，目标 eNB 向 MME 发送切换请求确认消息。因此，源 eNB 经过 S1 接口，在 MME 发送给源 eNB 的切换命令消息中，接收来自透明容器的 RRCConnectionReconfiguration 消息，如图 3.10 所示。

对于 UE 和目标 eNB 之间的 AS 安全，在切换准备过程，源 eNB 得到 K_{eNB*}，然后向目标 eNB 发送 K_{eNB*}。目标 eNB 利用 K_{eNB*} 通过无线接口和 UE 进行安全通信。目标 eNB 也选择完整保护和加密算法，然后决定在发送给 UE 的 RRCConnectionReconfiguration 消息中使用的算法。

3.8.2 切换执行

切换执行的一系列步骤如图 3.11 所示。在接收到来自目标 eNB 的透明容器中装载的 RRCConnectionReconfiguration 消息时，源 eNB 将通过向 UE 不做修改地转发 RRCConnectionReconfiguration 消息执行切换。用于切换的 RRCConnectionReconfiguration 消息包含 mobilityControlInfo；即是说，"RRCConnectionReconfiguration 消息包括了 mobilityControlInfo" 相当于 "切换命令"。

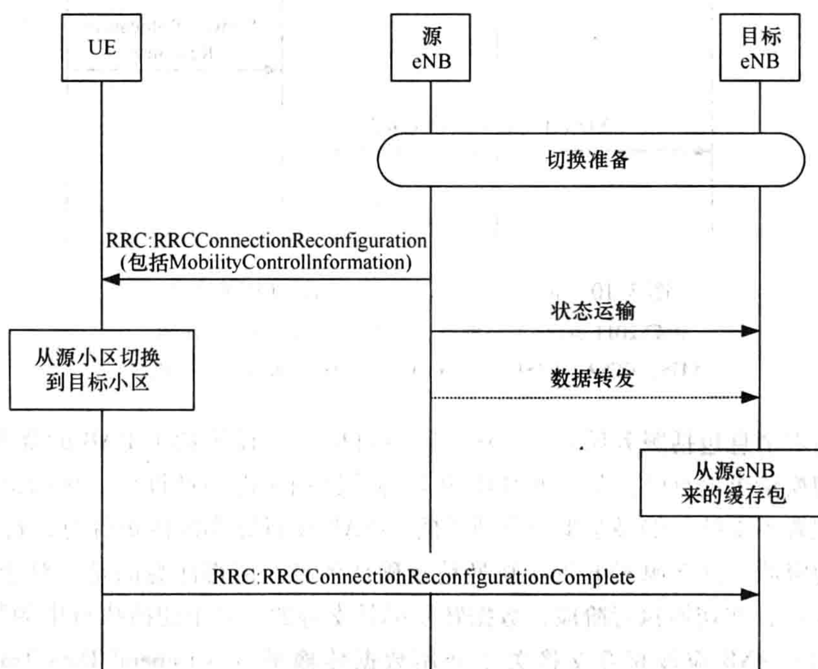


图 3.11 切换执行

当接收到切换命令时，UE 重设 MAC，并为所有的已建立的 RB 重建 PDCP 和 RLC。然后 UE 开始通过下行链路和目标小区同步。

在 RRCConnectionReconfiguration 消息中的 mobilityControlInfo 通知 UE 的目标小区，包括物理小区 ID、载频、目标小区的上下行链路带宽。另外，mobilityControlInfo 提供

了一个新的小区无线网络临时标识（Cell Radio Network TemporaryIdentify，C-RNTI），它用于确定 UE 在目标小区中的身份，也给出在目标小区中使用的公共信道的配置，例如 RACH。UE 在目标小区中使用新的 C-RNTI，然后，为了传输 RRCConnectionReconfigurationComplete 消息，UE 使用 RACH 配置进行随机接入过程。RACH 配置包含一个专用导言，UE 通过导言在目标小区进行无争端基础上的随机接入（见 6.9 节）。

对于 AS 安全，切换命令也包括目标小区的安全配置。在接收到安全配置时，UE 将获得在目标小区使用的新的 K_{eNB} 密钥（例如，K_{eNB*}）。对于 EUTRA 内切换，除了源、目标小区对等的小区内切换，UE 将根据安全配置，在 K_{eNB} 或 NH 的基础上获得 K_{eNB*}。在 RRC_CONNECTED 状态，小区内切换可能用于改变 AS 密钥。

如果目标 eNB 选择了与源 eNB 不用的算法，则它将根据切换命令中的安全配置来决定将选用的算法。然后 UE 根据已选算法来获得 AS 密钥。如果 UE 没有接收到任何完整保护和安全加密算法，它将继续使用源 eNB 中的算法。

同时，源 eNB 向目标 eNB 发送一个状态转换消息。状态转换消息包含上行 PDCP 接收者状态和下行 PDCP 发送者状态，以支持在 PDCP 层重整服务数据单元（Service Data Unit，SDU）（见 4.6 节）。

为了避免数据丢失，源 eNB 也可能通过在切换准备时建立的 GTP 隧道进行在源 eNB 和目标 eNB 之间的用户分组数据转发。对于 X2-based 切换，数据转发通过源 eNB 和目标 eNB 之间的直传路径完成。对于 S1-based 切换，数据转发将使用非直传路径，需要通过 S-GW 中转。只要源 eNB 还继续接收来自 EPC 的分组数据包或者源 eNB 的缓存非空，源 eNB 应该继续向目标 eNB 转发分组数据包。

当 UE 能符合切换命令中的配置时，UE 将与目标小区的下行链路进行同步，然后通过随机接入过程尝试接入目标小区。当接收到切换命令时，UE 将启动一个管理最大切换持续时间的倒计时。当 MAC 层的随机接入成功后，倒计时将停止。当倒计时结束而随机接入仍未完成时，UE 将宣布切换失败。为了从切换失败中恢复，UE 将进行 RRC 连接重建过程。在重建过程中，UE 可能接入源小区或者另外一个小区。无论哪种情况，只有接入 eNB 准备就绪的小区，重建才可能成功。

当倒计时进行时，UE 将向目标小区进行随机接入过程。在接收到切换命令后，UE 将在第一个可用的 RACH 场合，发送一个随机接入导言。因为 UE 导言发送时刻对于目标小区来说是未知的，所以在向源小区下达切换命令后，目标小区应该抽出时间来准备接收来自 UE 的随机接入导言。

为了减少切换延时，UE 在进行随机接入过程之前并不读取来自目标小区的系统信息，但是，在切换完成之后却需要读取系统信息。在切换刚完成时，UE 可能暂时无法应用配置中的某些部分，直到获取要求的系统信息后。

3.8.3 切换完成

对于 UE 端，UE 向目标小区成功发送 RRCConnectionReconfigurationComplete 消息标志着切换过程完成。对于网络端，还有进一步的步骤需要被执行，包括切换到目标

eNB 的分组数据传输路径，以及释放源 eNB 的与 UE 有关的资源。根据不同的切换类型——基于 X2 的和基于 S1 的，需要应用不同的过程，分别如图 3.12 和图 3.13 所示。

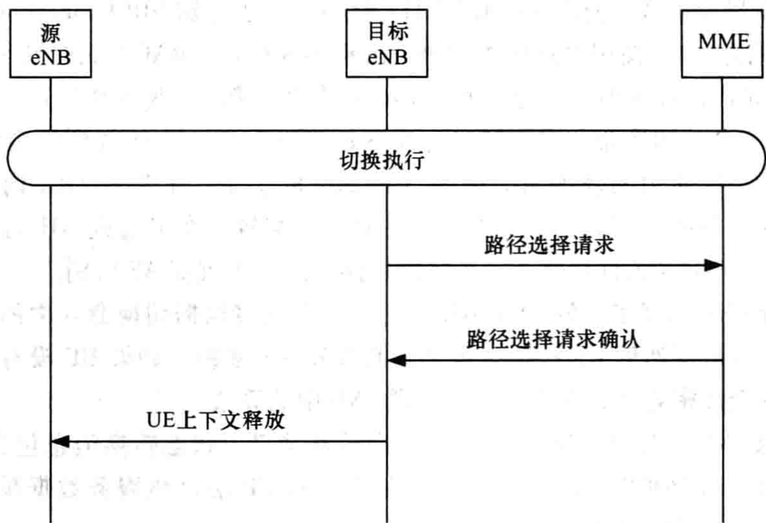


图 3.12 基于 X2 切换的完成

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

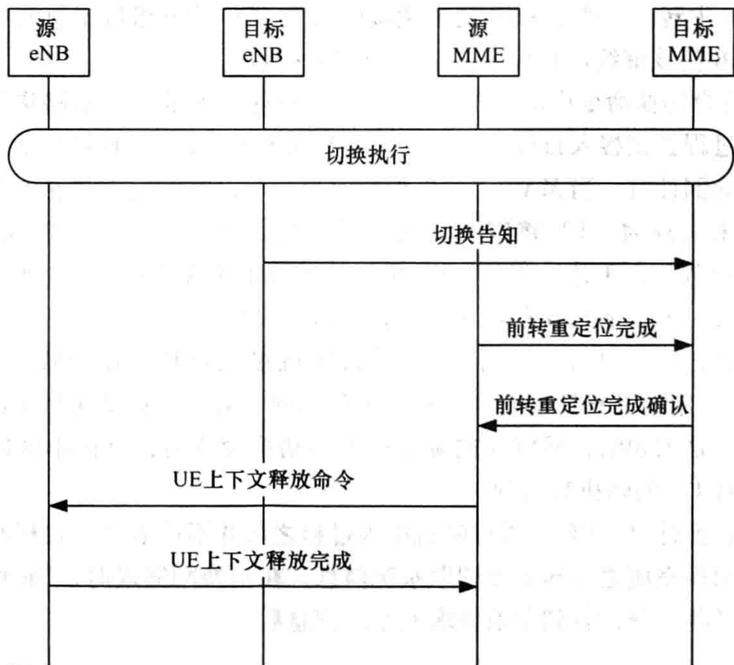


图 3.13 基于 S1 切换和 MME 重定位的切换完成

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

当 UE 在目标小区中获得身份时，目标 eNB 能通过无线接口向 MME 表明切换完成，如果是基于 X2 的切换，eNB 将向 MME 发送一条路径跳转请求消息，如果是基于 S1 的切换，eNB 将向 MME 发送一条切换通知消息。当 MME 接收到来自目标 eNB 一条路径跳转请求消息或者一条切换通知消息时（取决于切换类型），MME 将与 S-GW 通信，以进行源 eNB 和目标 eNB 之间的路径跳转。

一旦数据路径跳转到目标 eNB，对于基于 X2 的切换，源 eNB 将接收到来自目标 eNB 的一条 UE 上下文环境释放消息；对于基于 S1 的切换，源 eNB 将接收到来自 MME 的一条 UE 上下文环境释放命令消息。当接收到 UE 上下文环境释放消息或者 UE 上下文环境释放命令消息时，源 eNB 将释放与 UE 相关联的资源，这时，对于网络端，切换过程完成。

当切换准备完成时，源 eNB 将启动一个管理切换执行和切换完成最大允许延时的倒计时。如果源 eNB 在倒计时完成时还没有接收到 UE 上下文环境释放消息或者 UE 上下文环境释放命令消息，那么源 eNB 将向 MME 发送一条 UE 上下文环境释放请求消息，它将会使 MME 向源 eNB 发送一条 UE 上下文环境释放命令消息。

3.9　测量控制

LTE 支持如下类型的测量：

（1）E-UTRA 的同频测量

（2）E-UTRA 的异频测量

（3）不同 RAT 测量

1）UTRA 频率的不同 RAT 测量；

2）GERAN 频率的不同 RAT 测量；

3）CDMA2000 1xRRT 或 HRPD 频率的不同 RAT 测量。

同频测量定义为服务小区下行链路载频的测量，异频测量定义为与服务小区下行链路载频不同的频率的测量，不同 RAT 测量定义为与 E-UTRA 不同的 RAT 的测量。

当 UE 处于 RRC_CONNECTED 状态，可使用对 UE 可用的测量进行配置。eNB 通过 RRCConnectionReconfiguration 消息向处于 RRC_CONNECTED 状态的 UE 提供测量配置。

在 UE 中，物理层进行测量并向 RRC 层报告测量数据。物理层可能根据 3GPP 规定的性能要求进行 L1 过滤。当接收到来自物理层的测量数据报告时，RRC 层将进行 L3 过滤，L3 过滤在测量配置中有配置。

那些 L3 过滤后的数据，将被作为评估报告标准的数据来使用。由测量配置配置的报告标准决定是否进行报告。当报告被触发时，UE 根据测量配置来报告测量结果。

3.9.1　测量配置

RRCConnectionReconfiguration 消息中测量配置包含以下的参数：测量对象、上报配置、测量标志、测量量配置、测量窗口。

测量对象定义为 UE 进行测量的对象，如一组频率或一组小区。对于一个给定的频率，E-UTRA 配置了一个单独的测量。E-UTRAN 把那些在事件评估和测量报告不作考虑的小区列入黑名单。

对于不同 RAT 测量，用于 UTRA 的测量对象是一个单独载频的一组小区，用于 GERAN 的测量对象是一组载频，用于 CDMA2000 的测量对象是在一个单独载频上的一组小区。

上报配置定义了上报标准和上报格式。上报标准相当于触发 UE 发送测量报告的标准，上报格式相当于测量报告中包含的相关信息。

这些信息包括 E-UTRA 的参考信号接收功率（Reference Signal Received Power，RSRP）、参考信号接收质量（RSRQ）和小区最大数目。RSRP 相当于一个 E-UTRA 小区的信号强度。RSRQ 是来自 RSRP 与接收信号强度指示（RSSI）的比值。RSSI 是包含接口的接收带宽功率，因此，在 LTE 中，RSRQ 被当作一个额外的计入接口的度量。对于 RAT 间测量，接收信号码功率（Received Signal Code Power，RSCP）的值是与 UTRA 中 RSRP 和 Ec/No，及 GERAN 中 RSSI 相对比。

测量标志是用于标志一个测量对象与一个报告配置的连接关系。通过配置多个测量 ID，可以将多于一个的上报配置连接到一个测量对象，也可以将多于一个的测量对象连接到一个上报配置。当 MeasurementReport 消息被发送到 eNB 时，测量 ID 作为相关测量对象和配置的联合体包含在此消息中。

测量配置了测量量和与之相联系的过滤，这个配置也用于评估测量标准和测量报告。

测量窗口定义为 UE 在上下行时期没有调度传输，测量窗口可配置用于以辅助频率间或 RAT 间测量。在测量窗口期间，UE 允许离开它的服务小区进行其他频段的测量。作为 UE 无线接入能力信息的一部分，UE 向 eNB 表明是否在测量窗口分别进行频率间和 RAT 间测量。eNB 在 UE 的测量窗口提供一个单一的配置，这个配置对于所有类型的测量来说是共同的，包括 E-UTRA 的频率间测量和 GERAN、UTRA、CDMA2000 下的 RAT 间测量。

3.9.2 测量报告触发

UE 可能测量和报告以下小区类型：服务小区、列出小区、被测小区。

列出小区定义为测量对象中列出的小区。被测小区定义为测量对象中未被列出，却在测量对象的载频中被 UE 检测到的小区。

在 E-UTRA 中，UE 进行测量和报告服务小区、列表小区和被测小区；在 UTRA 和 CDMA2000 中，UE 进行测量和报告列表小区；在 GERAN 中，UE 进行测量和报告被测小区。

根据测量配置中的报告配置，报告能被周期性触发（例如周期性报告），或者基于配置事件触发（例如事件触发型报告）。另外，在报告已经被触发后，UE 能向 eNB 提供一定数目的周期性报告。通过设置测量报告的数目和间隔的报告配置过程，实际也

配置了例如“事件触发型周期性报告”。

对于事件触发型报告，3GPP 标准中定义了几种事件。在 E-UTRA 中，如下事件定义为测量的标准：

1）事件 A1：服务小区比绝对门限值好；

2）事件 A2：服务小区比绝对门限值差；

3）事件 A3：邻小区比相对于服务小区的偏移量好；

4）事件 A4：邻小区比绝对门限值好；

5）事件 A5：服务小区比绝对门限值差，邻小区比另一个绝对门限值好。

另外，在 GERAN、UTRA 和 CDMA2000 中，以下事件定义为 RAT 内部测量标准：

1）事件 B1：邻小区比绝对门限值好；

2）事件 B2：服务小区比绝对门限值差，邻小区比另一个绝对门限值好。

当一个或多个小区满足触发事件的条件时，UE 将触发事件，在 MeasurementReport 消息中报告一个或多个小区的测量结果。这个条件由测量配置和几个参数（例如一个或多个绝对门限、一个滞后量、一个偏移量）来进行配置。

对于事件触发型报告，eNB 也在报告配置中配置时间触发参数。只有在与时间触发变量符合的时间间隔内，满足条件，UE 才能够触发相关的事件。根据测量配置，UE 可能会分配时间来触发事件，其取决于 UE 的移动速度。例如，当 UE 处于快速移动时，UE 将缩短触发时间，当 UE 处于低速移动时，UE 将延长触发时间。

3.9.3 测量报告

UE 利用测量报告过程向 eNB 报告测量结果。UE 将测量结果包含在 MeasurementReport 消息中。eNB 在做切换决定时能使用这些测量结果。

3.10 RRC 连接重建

RRC 连接重建过程用来恢复 UE 和 eNB 在无线接口由于各种原因导致失败的连接，其完整过程如图 3.14 所示。当满足以下任一种失败的条件时，UE 将开始 RRC 连接重建过程：

1）当检测到无线连接失败（Radio Link Failure，RLF）；

2）当切换失败出现时；

3）从 E-UTRA 移出失败时；

4）当 PDCP 层表示完整性检测失败时（见 4.3 节）；

5）当 RRC 连接重配置失败时。

当以下任一种情况发生时，UE 认为检测到一个 RLF：

1）当物理层出现不同步时；

2）当 MAC 层出现随机接入困难时（见 6.9 节）；

3）当 RLC 层达到最大重传数目时（见 5.4.3 节）。

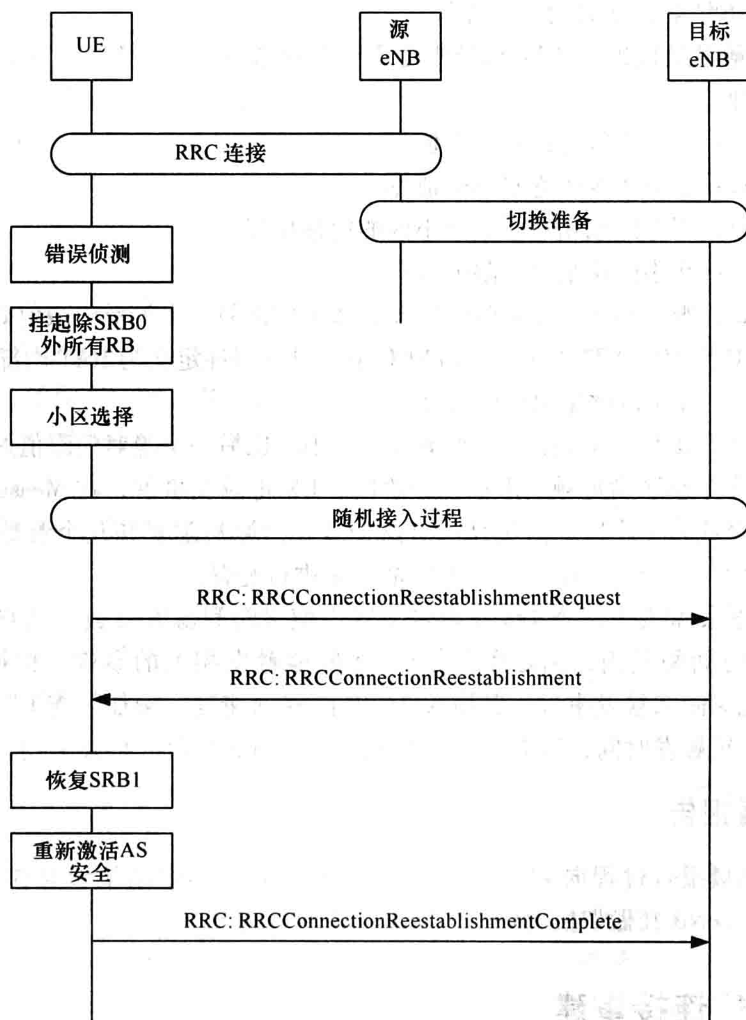


图 3.14 RRC 连接重建

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

当 AS 安全激活时，UE 能开始 RRC 连接重配置过程。AS 安全在此过程将重新激活。当 AS 未激活时，如果失败条件的任一种出现时，UE 将跳过 RRC 连接重建过程，直接进入 RRC_IDLE 状态。

作为 RRC 连接重建过程的一个结果，UE 可能从一个 eNB（源 eNB）移动到另一个 eNB（目标 eNB）。在 RRC 连接重建立过程中，处于 RRC_CONNECTED 状态的 UE 将使用基于 UE 的移动性。只有在准备就绪的 eNB 接收 UE 和在连接重建前通过切换准备建立 UE 上下文环境，UE 才能成功重建连接，这是因为在连接重建后，目标 eNB 无法从源 eNB 中获得 UE 上下文环境，源 eNB 被允许为 UE 准备多个邻接 eNB。

当满足失败条件中的任一条时，UE 将通过基于 UE 的移动性进行小区选择过程，

从而找到一个合适的小区（见2.2节），然后尝试以这个合适小区为目标小区，通过向该小区所属的目标eNB发出RRC连接重建请求，恢复连接。由源eNB控制源小区也可能被选为目标小区作为小区选择的结果。

通过MAC层的随机接入过程，UE需要向目标eNB控制的合适小区发送RRCConnectionReestablishmentRequest消息。在发送RRCConnectionReestablishmentRequest消息之前，用于目标小区的系统信息应该在UE内可用。在随机接入过程，RRCConnectionReestablishmentRequest消息需要在UL-SCH发送。以下信息元素和重建原因一起被包含RRCConnectionReestablishmentRequest消息中：C-RNTI、Physical Cell ID（PCI）、Short MAC-I。

如果由于切换过程失败或从E-UTRA的移动过程失败，重建过程初始化，RRCConnectionReestablishmentRequest包含源小区内使用的C-RNTI、PCI和基于源小区密钥的Short MAC-I。否则，RRCConnectionReestablishmentRequest包含发送RLF的小区内使用的C-RNTI、PCI和基于发生RLF的小区密钥的Short MAC-I。

Short MAC-I相当于MAC-I中的最低有效16位（见4.3节）。因为PDCP层没有对通过SRB0中传输RRCConnectionReestablishmentRequest消息进行完整保护和加密，目标eNB使用Short MAC-I对RRCConnectionReestablishmentRequest消息进行验证。只有在目标eNB准备好UE文本时，RRC连接重建才能成功。当目标eNB接收到重建消息时，目标eNB检索到已保存的UE上下文环境，这个上下文环境与PCI验证身份的小区中使用的C-RNTI匹配，然后使用Short MAC-I检验这个消息。只有目标eNB已经准备好UE上下文环境，才能接受RRC连接重建请求。因此，当目标eNB无法成功检索到匹配的UE上下文环境时，目标eNB将向UE发送RRCConnectionReestablishmentReject消息，以拒绝重建请求。

当eNB接受了重建请求，一条RRCConnectionReestablishment消息将通过SRB0被发送到UE。PDCP层并不对此消息进行完整保护和安全加密。当接收到此消息时，UE将重新使用已被悬空的SRB1。然后，不改变算法，UE更新K_{eNB}获得3个AS密钥（K_{RRCint}、K_{RRCenc}、K_{UPenc}）来重新激活AS安全。在AS安全被重新激活后，所有后来的消息（包括通过重新启用的SRB1接口传输的RRCConnectionReestablishmentComplete消息）都具有完整保护和加密。

UE向目标小区发送RRCConnectionReestablishmentComplete消息标志着RRC连接重建过程成功完成。紧接着重建过程，eNB立即进行RRC重配置过程，以重建RLC和为SRB2及所有DRB服务的PDCP，并重新启用悬空的SRB2和所有DRB。RRC连接重配置过程也对UE进行测量配置。

RRC连接重建可能因为几种原因而失败，例如，当目标eNB未准备就绪（如没有UE上下文环境），当UE未能找到一个合适小区进行小区选择过程，或者在某个间隙，随机接入过程没有成功。当RRC连接重建过程失败时，RRC层向UE中的NAS层表明“RRC连接失败”，此后UE进入RRC_IDLE状态。此后NAS层开始连接恢复，即NAS信令连接恢复。

3.11　RAT 间移动性

E-UTRAN 支持来自/到其他 3GPP 接入系统的不同无线接入技术之间的移动性（RAT 间）和来自/到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间移动性。不论是处于 RRC_IDLE 还是 RRC_CONNECTED 状态，UE 均可以移出或进入其他的接入系统。处于 E-UTRAN 的 UE 能够进行 RAT 间移动切换移出或者进入以下无线接入技术（RAT）：

（1）3GPP 接入系统

1）GSM/EDGE 无线接入网络（GERAN）；

2）通用陆地无线接入网络（UTRAN）。

（2）CDMA2000 接入系统

1）1x 无线传输技术（1xRTT）；

2）高速分组数据（HRPD）。

3.11.1　进入或移除 3GPP 系统的 RAT 间移动性

图 3.15 说明了 E-UTRAN 的 RRC 状态和 UTRAN、GERAN 的状态之间 RAT 间移动性。对于 3GPP 接入系统之间的可用的选择如下：

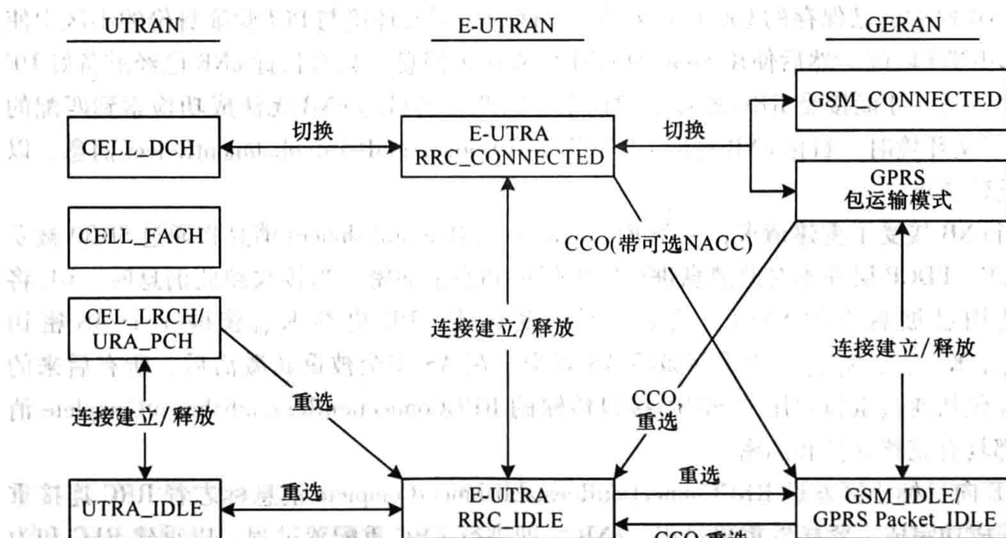


图 3.15　3GPP 接入系统间的 RAT 间移动性

1）RAT 间切换；

2）具有可选的网络协助小区改变（Network Assisted Cell Change，NACC）功能的小区改变命令（Cell Change Order，CCO）；

3）RAT 间小区重选。

当 E-UTRAN 中的 UE 处于 RRC_CONNECTED 状态，UTRAN 中的 UE 处于 CELL_DCH 状态，或者 GERAN 中的 UE 处于 GSM_CONNECTED/GPRS 分组传输模式时，RAT 间切换过程用于解决 E-UTRAN 和其他 3GPP 接入系统的移动性。

基本上，3GPP 接入系统之间的 RAT 间切换是网络控制移动性，即是说，源接入系统决定何时开始切换准备和切换执行。源接入系统可能应用 RAT 间测量过程进行 RAT 间切换。

对于 RAT 间切换，在 UE 执行切换前，目标接入系统应该为 UE 准备无线资源。源接入系统为目标接入系统提供必要的准备切换命令的信息。由目标接入系统产生的切换命令通过源接入系统转移到 UE。源、目标接入系统的核心网络节点，例如 GERAN 和 UTRAN 中的 SGSN，E-UTRSN 中的 MME 和 S-GW，都在 RAT 间切换过程中涉及。

对于 E-UTRAN 和 GERAN 之间的移动性，源接入系统可能触发携带可选 NACC 的 CCO。如果 UE 接收到关于携带可选 NACC 的 CCO 的切换命令，它将进入目标接入系统的空闲状态，然后向目标接入系统建立连接。源接入系统可能提供含有 NACC 的 CCO 命令来减少小区改变的中断时间，中断时间是 UE 被提供目标小区的系统信息的时间。

3GPP 接入系统中的空闲 UE 使用 RAT 间小区重选实现 E-UTRAN 和其他 3GPP 接入系统之间的移动性。RAT 间小区重选也用于，UE 从 UTRAN 中的 CELL_PCH 或 URA_PCH 状态进入 E-UTRAN 的 RRC_IDLE 状态，从 GERAN 的 GPRS 分组传输模式进入 E-UTRAN 的RRC_IDLE 状态。RAT 间小区重选过程的细节在 2.7 节给出。

值得注意的是，E-UTRAN 和 UTRAN 的 CELL_FACH 之间的 RAT 间移动性并不被支持，因为 CELL_FACH 被当作临时状态使用，例如，分组数据包的间歇性传输。

E-UTRAN 中的 RRC 层提供如下的 GERAN 和 UTRAN 之间的 RAT 间的 RRC 过程：

（1）从 E-UTRAN 到另一个 3GPP 接入系统的移动性

E-UTAN 过程的移动性。

（2）从另一个 3GPP 接入系统到 E-UTRAN 的移动性

1）E-UTRA 过程切换；

2）E-UTRAN 过程的 RAT 间小区改变命令。

3.11.1.1 E-UTRA 过程移动性

E-UTRA 过程的移动性支持到 GERAN 或 UTRAN 的 RAT 间切换和到 GREAB 中的 CCO。RRC 层指定 MobilityFromEUTRACommand 消息用于 E-UTRA 过程的移动性。这个消息决定了 RAT 间切换或者小区改变命令过程的目的。这个过程也支持从 E-UTRAN 到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间移动性。

图 3.16 说明了从 E-UTRAN 到其他 3GPP 接入系统的 RAT 间切换和来自 E-UTRA 过程的移动性。源 eNB 可能使用 RAT 间测量来做关于 RAT 间切换的决定。当源 eNB 决定开始 RAT 间切换到目标 3GPP 接入系统（例如 GERAN 和 UTRAN）时，接入网络和核心网络将在切换执行前进行切换准备。

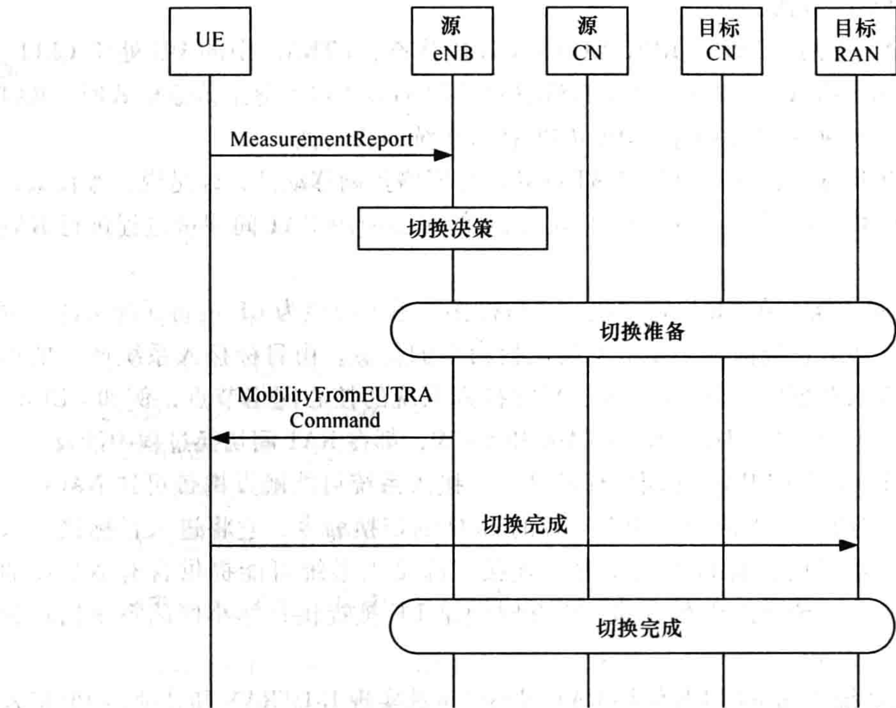


图 3.16 从 E-UTRAN 到其他 3GPP 接入系统的 RAT 间切换

在切换准备过程中，目标 RAN 通过源 eNB 向 UE 发送切换命令。源 eNB 使用 MobilityFromEUTRACommand 消息向 UE 传切换命令。这个消息决定了目标接入系统类型，也就是说，GERAN 或者 UTRAN。

MobilityFromEUTRACommand 消息表示切换过程触发 UE 开始 RAT 间切换的切换执行过程。当接收到这个消息时，UE 从 E-UTRAN 跳转到接收到的消息决定的目标小区的目标 RAN 中。当 UE 和目标小区同步成功时，UE 向目标小区发送一条信息以完成 RAT 间的切换。若切换完成，网络将交换分组数据路径从源 eNB 到目标 RAN，也将释放仍留在源 eNB 中的 UE 相关资源。

当从 E-UTRA 的移动性过程用于从 E-UTRAN 到 GERAN 的 CCO 时，MobilityFromEUTRANCommand 消息决定了 cellChangeOrder。当接收到来自 E-UTRAN 的这条消息时，UE 启动 CCO 并向 GERAN 建立一个连接。对于可选 NACC 的支持，这个消息能包含目标 GERAN 小区的系统信息。如果这个消息中不包含系统信息，当 UE 接入 GERAN 小区时，UE 应该从 GERAN 小区中获取系统信息。

当 UE 未能成功向目标小区建立连接，或当 UE 无法依据 MobilityFromEUTRANCommand 消息完成配置过程，可能会失败。从 E-UTRA 的移动性过程失败时，源接入系统（E-UTRAN），通过执行 RRC 连接重建过程处理失败。

3.11.1.2　向 E-UTRA 过程的切换

对于从 GERAN 或 UTRAN 到 E-UTRAN 的 RAT 间切换，RRC 层向 E-UTRA 过程提供切换。作为切换结果，如果源 RAT 中的安全未被激活，则 UE 对 E-UTRAN 激活 AS 安全，并且建立 SRB1、SRB2 和一个或多个 DRB。

图 3.17 说明了从其他 3GPP 接入系统到 E-UTRAN 的 RAT 间切换，伴随着 RRC 连接重配置过程。向 E-UTRA 过程的切换利用了 RRC 连接重配置过程。

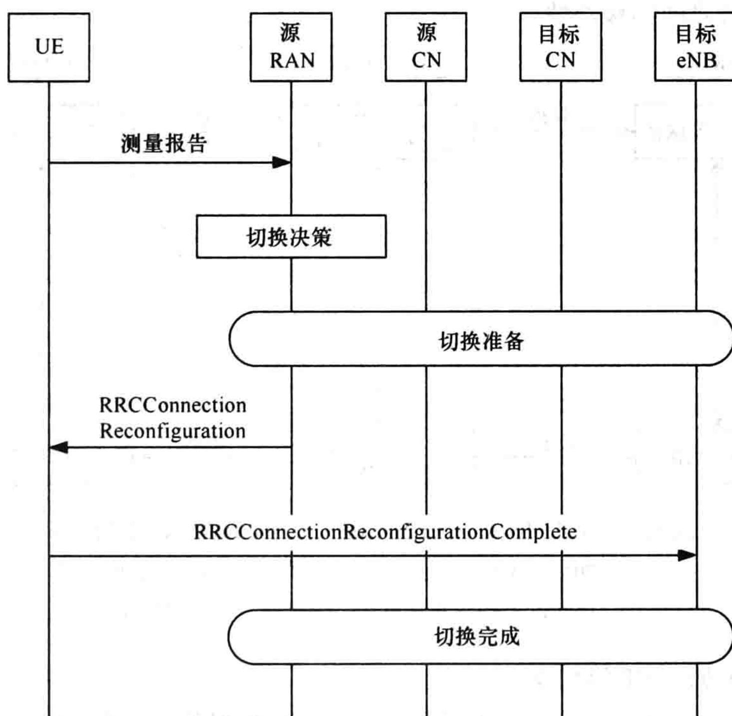


图 3.17　从其他 3GPP 接入系统到 E-UTRAN 的 RAT 间切换

当源 RAN 做出向 E-UTRA 进行 RAT 间切换的决定时，目标 eNB 向源 RAN 发送 RRCConnectionReconfiguration 消息，然后源 RAN 向 UE 转发这个消息。当接收到这个消息时，UE 接入目标 eNB，然后发送 RRCC onnectionReconfigurationComplete 消息。

通常情况下，处理 RAT 间移动性失败是在源 RAN 的规范中明确的，而不是目标 RAN。因此，当向 E-UTRA 过程的切换过程失败时，UE 根据源 RAN 相对应的 GERAN 或者 UTRAN 的规范处理这个失败。

3.11.1.3　对于 E-UTRAN 过程的 RAT 间小区改变命令

对于从 GERAN 到 E-UTRAN 的 CCO，RRC 层向 E-UTRAN 过程提供 RAT 间小区改变命令。当接收到相当于从 GERAN 到 E-UTRAN 的小区改变命令的消息时，UE 向 E-UTRAN过程发出 RAT 间小区改变命令。然后，UE 对目标 E-UTRAN 小区进行 RRC 连

接重建过程。如果对 E-UTRAN 过程的 RAT 间小区改变命令失败，UE 将回到 GERAN。UR 将根据 GERAN 的规范处理这个失败。

3.11.2 进入/移出 CDMA2000 系统的 RAT 间移动性

图 3.18 说明了 E-UTRAN 的 RRC 状态和 CDMA 接入系统（包括 1xRTT 和 HRPD）的状态之间的 RAT 间移动性。RAT 间切换和 RAT 间小区重选可以用于 E-UTRAN 和 CDMA2000 系统之间的移动性。

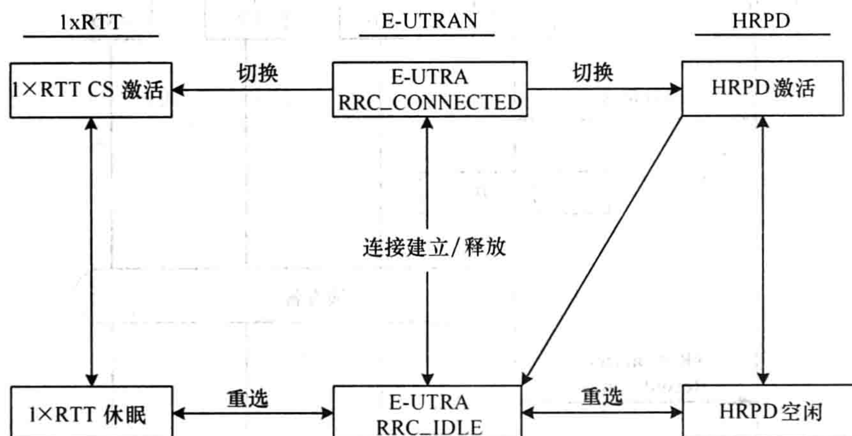


图 3.18 E-UTRAN 和 CDMA 接入系统间的 RAT 间移动性

移出 E-UTRAN 的 RAT 间切换

图 3.19 说明了到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间切换。一般地，从 E-UTRAN 到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间切换包含两个阶段：一个预注册阶段和一个切换阶段。

为了实现从 E-UTRAN 到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间切换，连接到 E-UTRAN 的 UE 可能进行预注册，在这个阶段中，仍然连接到 E-UTRAN 的 UE 向 CDMA2000 系统注册。用于预注册到 CDMA2000 的 CDMA2000 消息通过 UE 和 CDMA2000 系统间 EPS 上隧道信令进行交换。DLInformationTransfer 消息和 ULInformationTransfer 消息用于交换 CDMA2000 的信息，这些信息用于在预注册阶段与 CDMA2000 系统进行会话建立和验证。

eNB 能决定 UE 是否允许通过系统信息在 E-UTRAN 进行预注册。这是 SystemInformationBlockType8 中决定的，SystemInformationBlockType8 包含 CDMA2000 系统的 RAT 间小区重选信息。eNB 也能过通过 RRCConnectionReconfiguration 消息决定这些。

对于一个在 CDMA2000 接入系统中注册的 UE，源 eNB 能触发 UE 切换到 CDMA2000 接入系统。在 CDMA2000 频段的关于 RAT 间测量的 MeasurementReport 消息可能触发源 eNB 开始切换。

另外，E-UTRAN 中的 RRC 层能提供如下 RRC 过程，以做好向 CDMA2000 接入系

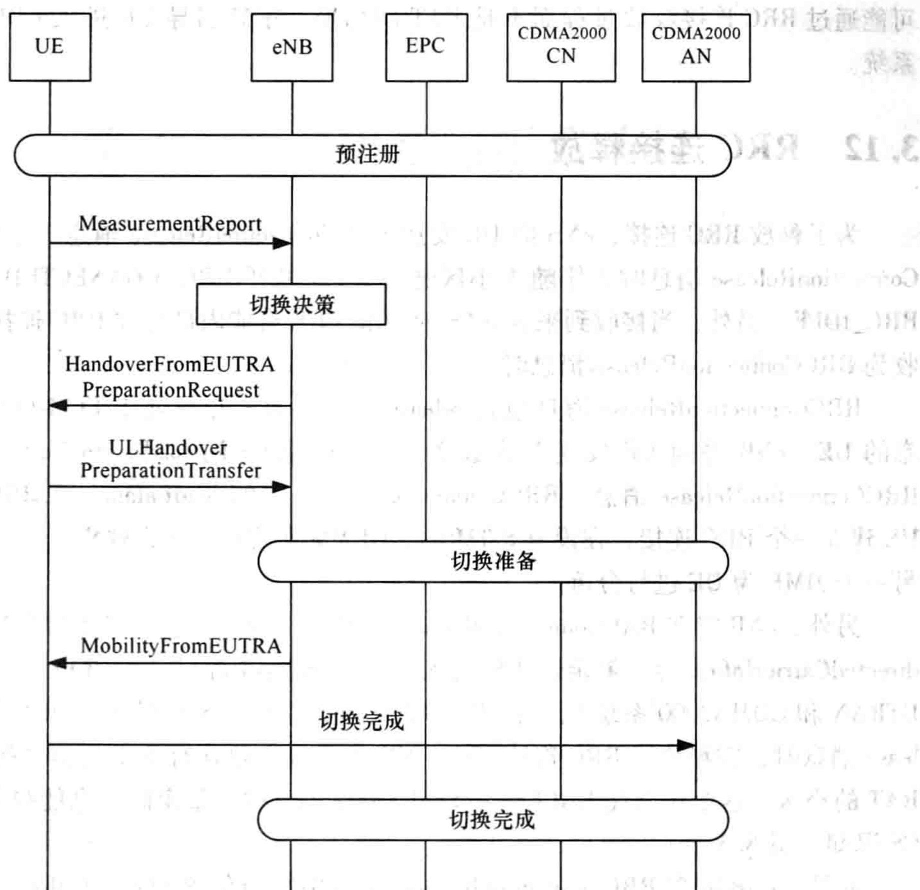


图 3.19　从 E-UTRAN 到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间移动性

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

统切换的准备：从 E-UTRA 准备请求过程的切换，UL 切换准备转移过程。

当做出一个切换决定，源 eNB 通过从 E-UTRA 准备请求过程的切换，请求 UE 进行切换准备。在这个过程中，源 eNB 向 UE 发送 HandoverFromEUTRAPreparationRequest 消息。当接收到这个消息时，UE 的 RRC 层转发包含在这个消息中的信息到 CDMA2000 上层。为了对这个消息做出响应，CDMA2000 上层请求 RRC 层开始 UL 切换准备转移过程。

当 UL 切换准备转移过程开始后，UE 的 RRC 层通过 ULHandoverPreparationTransfer 消息向 eNB 发送切换相关信息。在切换准备期间，这个消息通过隧道被透明地传输到 CDMA2000 系统。当 CDMA2000 系统准备切换就绪，接入目标小区的必要信息在切换准备期间被传输到源 eNB。源 eNB 通过 MobilityFromEUTRACommand 消息向 UE 发送这个信息。

对于从 E-UTRAN 到 CDMA2000 接入系统的 RAT 间移动性，在预注册后，源 eNB

可能通过 RRC 连接释放过程而不是 RAT 间切换，重新引导 UE 进入 CDMA2000 接入系统。

3.12 RRC 连接释放

为了释放 RRC 连接，eNB 向 UE 发送 RRCConnectionRelease 消息。当接收到 RRCConnectionRelease 消息时，伴随着小区选择，UE 离开 RRC_CONNECTED 状态并进入 RRC_IDLE。另外，当接收到来自 NAS 的请求，UE 可能内部释放 RRC 连接，在没有接收到 RRCConnectionRelease 消息时。

RRCConnectionRelease 消息包含 releaseCause。为了卸载处于 ECM-CONNECTED 状态的 UE，eNB 将向 UE 发送包含设置了 releaseCause 的 loadBalancingTAURequired 的 RRCConnectionRelease 消息。RRCConnectionRelease 中的 loadBalancingTAURequired 触发 UE 建立一个 RRC 连接，在没有 S-TMSI 和 GUMMEI 的情况下，这样可能导致 eNB 选择另一个 MME 为 UE 进行分流。

另外，eNB 能在 RRCConnectionRelease 消息中选择性地包含“重定向信息”，即 redirectedCarrierInfo，为了重定向 UE 进入另一个载频或者另一种 RAT（包括 GERAN、UTRAN 和 CDMA2000 系统）。当 UE 接收到一条带有重定向信息的 RRCConnectionRelease 消息时，在释放了 RRC 连接之后，UE 尝试接入包含有重定向信息的这个载频或 RAT 的小区。这个包含在 RRCConnectionRelease 消息中的重定向信息能被 UE 用来应用 CS 退却（见 8.3 节）。

此外，eNB 能在 RRCConnectionRelease 消息中选择包含 idleModeMobilityControlInfo，用于提供 UE 专用的小区重选优先级信息。在离开 RRC_CONNECTED 状态后，UE 如何处理小区重选优先权在 2.7 节进行了说明。

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 36.331, “Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 10)”, www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第4章　分组数据汇聚协议

在 LTE 无线协议栈，分组数据汇聚协议（PDCP）层位于无线链路控制（RLC）层之上，IP 层（在用户平面）或者无线资源控制（RRC）层（在控制平面）之下。3GPP 提供了 PDCP 标准（详见本章参考文献［1］）。通用移动通信系统（UMTS）中，PDCP 层的主要功能是对 IP 包的报头进行压缩，这就是它被命名为分组数据汇聚协议的原因。

在 LTE 中，PDCP 层通过演进后，能支持一个安全功能，即完整性保护和加密。为了给安全功能提供时变特性，PDCP 层引入了一个 PDCP 序列号。这个 PDCP 序列号依附在每个 PDCP 分组数据单元（PDU）中，用来为每个 PDCP PDU 产生不同的安全输出。有了 PDCP 序列号，PDCP 才能进行自动重传请求（ARQ）相关功能，在切换过程中提高无线效率。

PDCP 层在 RLC 层的顶部运行，用于实现 PDCP 功能的 PDCP 实体可以在发送和接收端进行配置（对于一个双向无线承载），也可以只在接收和发送其中一端进行配置（对于一个非双向无线承载）。如果一个 PDCP 实体在发送和接收端都进行配置，它将与一个确认模式（Acknowledgement Mode，AM）RLC 实体或者两个非确认模式（Un-acknowledgement Mode，UM）RLC 实体（一个用于上行方向，一个用于下行方向）发生联系。如果一个 PDCP 实体只在发送端或只在接收端配置，它将和一个同方向的 UM RLC 发生联系。一个 PDCP 实体只能用于一个无线承载。

4.1　PDCP 功能和结构

利用 PDCP 实体的无线承载能被划分为 3 种类型：

1）SRB（信令无线承载）：使用 AM RLC 的信令无线承载；

2）AM DRB（数据无线承载）：使用 AM RLC 的数据无线承载；

3）UM DRB：使用 UM RLC 的数据无线承载。

基于无线承载特征和相关 RLC 实体的模式，PDCP 实体将有选择地使用以下功能：

1）利用鲁棒性报头压缩（Robust Header Compression，ROHC）对 DRB 进行的报头压缩。

2）安全功能：SRB 的完整保护，SRB 和 DRB 的加密。

3）SRB 和 DRB 的 PDCP 序列号的维护。

4）切换支持功能：AM DRB 的状态报告，对 AM DRB 下层的重复 PDU 进行消除，对 AM DRB 上层 PDU 有序地传输。

5）对 SRB 和 DRB 进行基于时间的业务数据单元（SDU）丢弃。

PDCP 实体的功能视图如图 4.1 所示。值得注意的是图 4.1 中的 PDCP 实体既包含发送端也包含接收端，因此，它用于双向无线承载。对于一个非双向的无线承载，PDCP 实体只包含一个发送端或者接收端，没有 PDCP 控制单元。

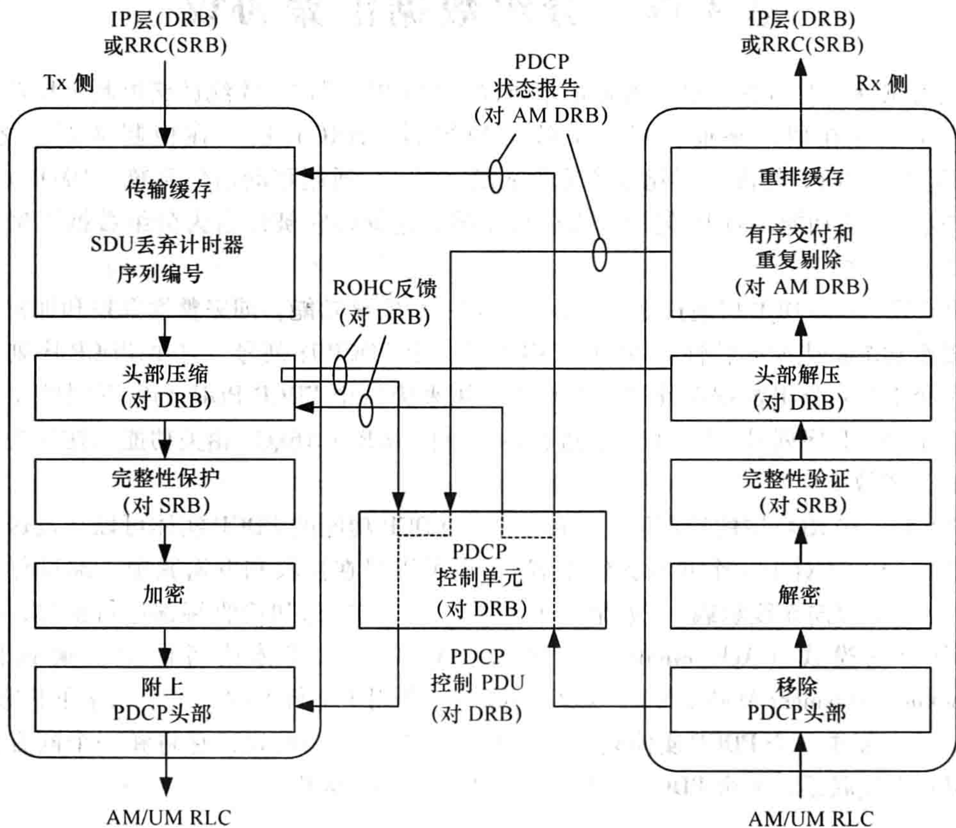


图 4.1 PDCP 实体的功能视图

PDCP 控制单元消息控制着 PDCP 产生的信息。一般地，定义了两种控制信息：PDCP 状态报告和 ROHC 反馈。因为它们没有和 PDCP SDU 关联，因此没有 PDCP 功能（例如序列号、头压缩、安全）。

4.2 报头压缩

每一个 IP 包都含有一个几十比特的报头，与有效载荷大小相比，是一个相当大的数量。例如，一个使用 RTP/UDP/IPv6 协议的、IP 语音（Voice over IP，VoIP）服务，每个数据包包含 60bit 的报头，而有效载荷大小通常为 20～30bit。因此，这样一个上层的减小报头大小的报头压缩算法，对于提高发送效率是很必要的，特别是对于 VoIP 服务。

报头压缩的基本思想是只发送相关报头不同的部分，如图 4.2 所示。对于一个单独的 IP 流，数据包之间的很多报头段是相同的。因此，每个数据包中相同信息的发送是多余的，这也是效率低下的根本原因。

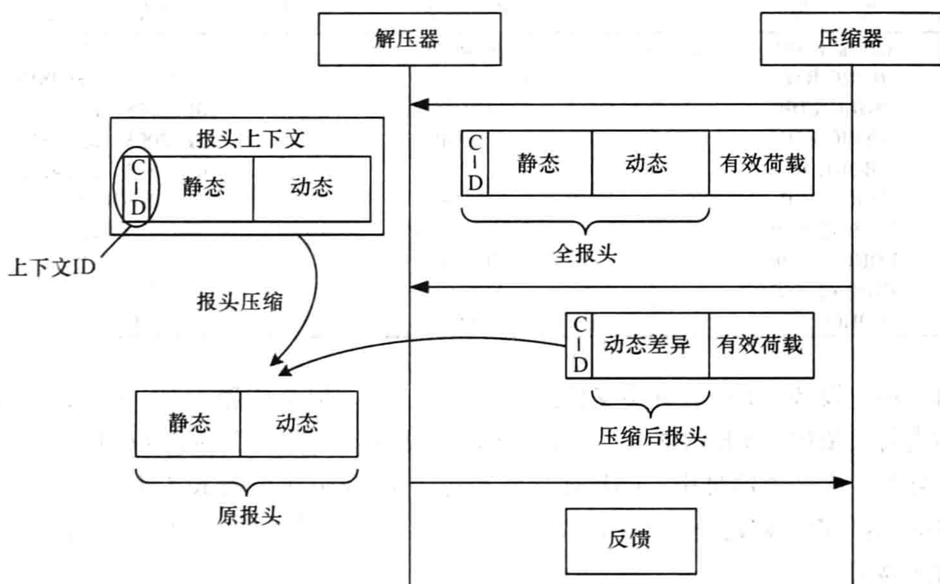


图 4.2　报头压缩算法的概念视图

为了避免数据包的这些冗余，压缩器首先发送完整的报头数据包，在解压器建立一个 IP 流的报头上下文环境。报头上下文环境包含相关报头和 IP 流的身份码，称为上下文 ID（Context ID，CID）。一旦在解压器中建立报头上下文环境，对于随后的 IP 流数据包，压缩器将发送压缩后的数据包，这些数据包包括携带原始数据包报头和已建立报头上下文环境差异的压缩后的报头。这些差异部分通常是数据包报头不同的动态部分。然后，当解压器接收到压缩后的数据包时，它可以重建原始数据包，通过基于已建立的报头上下文环境和压缩数据包的差异部分恢复数据包报头。

如果报头解压不成功，通过报头解压中循环冗余校验（Cyclic Redundancy Check，CRC）错误检测出来，解压器将向压缩器发送反馈信息，表明报头上下文环境已作废。这个反馈信息既能作为一个单独的数据包发送，也能依附在反方向的一个数据包发送。当压缩器接收到这些反馈信息时，它将再次发送完整的报头数据包重建正确的报头上下文环境。

在 LTE 中，报头压缩基于由因特网工程任务组（Internet Engineering Task Force，IETF）定义的 ROHC 框架。ROHC 是用于有线连接报头压缩算法的一个增强版本。“鲁棒性”这个术语意味着这个报头压缩算法在有损链路也能很好地运行，例如无线链路。

ROCH 框架定义了多种报头压缩算法，每一种被称为一个 ROCH 类型。这个类型对于特别的 IP 流是特定的，如 RTP/UDP/IP 或者 TCP/IP。支持的 ROHC 类型见表 4.1。

表4.1 支持的ROHC类型

由©2011 3GPP许可发布。3GPP™TSs和TRs是ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA和TTC的财产，并共同拥有版权

类　型	IP流类型	报头压缩算法
未压缩ROHC	无压缩	RFC4995
ROHC RTP	RTP/UDP/IP	RFC3095，RFC4815
ROHC UDP	UDP/IP	RFC3095，RFC4815
ROHC ESP	ESP/IP	RFC3095，RFC4815
ROHC IP	IP	RFC3843，RFC4815
ROHC TCP	TCP/IP	RFC4996
ROHCv2 RTP	RTP/UDP/IP	RFC5225
ROHCv2 UDP	UDP/IP	RFC5225
ROHCv2 ESP	ESP/IP	RFC5225
ROHCv2 IP	IP	RFC5225

对于用户设备（UE），并不支持独占支持ROCH，但是依赖于UE能力，对ROCH类型的支持也依赖于UE的能力。因此，UE需要通知演进型NodeB（eNB）其支持的ROCH类型。从这个信息中，eNB选择将在每个DRB中使用的ROCH类型，然后UE通过RRC信令得知被选择的ROCH类型。这样，对于每个DRB，ROCH类型能在压缩器和解压器同步。

在ROCH类型中，如果UE想至少支持一种以上的ROCH类型，“ROCH uncompressed”类型是无条件支持的。这个是因为算法“RFC4995”是ROHC类型的基本框架，包括压缩器和解压器的配置参数。

UE如果想要支持VoIP服务，就需要支持“ROHC RTP”和“ROHC UDP”类型。因为VoIP数据包通过RTP/UDP/IP层传输，支持那些类型对于VoIP服务来说是必要的。利用ROHC，RTP/UDP/IP数据包的报头大小能从40bit（对于IPv4）或者60bit（IPv6）减少到1～3bit。

4.3 安全

安全功能包括完整性保护和加密。安全功能的配置由RRC负责，但是安全功能的实现却是由PDCP负责。当RRC层进行安全激活时，在上行和下行链接中PDCP层将对所有的PDCP SDU应用安全功能。

PDCP层管理着其中一个安全输入参数，称为COUNT。这个COUNT有32bit长，包含超帧号（Hyper Frame Number，HFN）和PDCP序列号（Sequence Number，SN）。PDCP SN长度可以是5bit、7bit或者12bit，取决于无线承载特征。PDCP SN构成了COUNT的最低位部分，而HFN构成了COUNT的其他部分。

PDCP SN明确地附加在PDCP PDU上，然而HFN则保存在发送端和接收端的内部。PDCP SN为每一个PDCP SDU而增加1，而HFN为每一个PDCP SN做卷边处理而增加1。PDCP SN环绕包裹的意思是在达到由PDCP SN比特限制的最大值之后，PDCP SN的

值变为 0。因此，作为结果的 COUNT 值能为安全算法提供一个时变输入。COUNT 的时变特性提供了应对著名的重播攻击的保护。

4.3.1　完整性保护

完整性保护用来检测传输过程中数据包是否被替换或被非授权方插入数据。它是通过一种特别的码实现的，称为消息完整认证码（Massage Authentication Code-Integrity，MAC-I）。MAC-I 长 4bit，由以下几个参数从完整保护算法产生：

1）KEY：AS 获得的用于完整保护的密钥；

2）COUNT：HFN + PDCP SN；

3）BEARER：无线承载 ID；

4）DIRECTION：无线承载的方向，即上行或下行；

5）MASSAGE：将要被完整保护的消息本身。

对于每一个 PDCP SDU，PDCP 发送端产生一个 MAC-I 并将其附着在 PDCP SDU 中，形成 PDCP PDU。当 PDCP 接收端接收到一个 PDCP PDU，它也产生自己的 MAC-I，称为 XMAC-I，基于接收到的 PDCP PDU，比较 XMAC-I 和接收到的 MAC-I。如果它们是相同的，则完整性得到确认。如果它们是不同的，PDCP 接收端表示完整性认证失败，并通知 RRC 这个失败的消息，使 RRC 进行 RRC 连接重建过程。完整性保护的全部操作如图 4.3 所示。

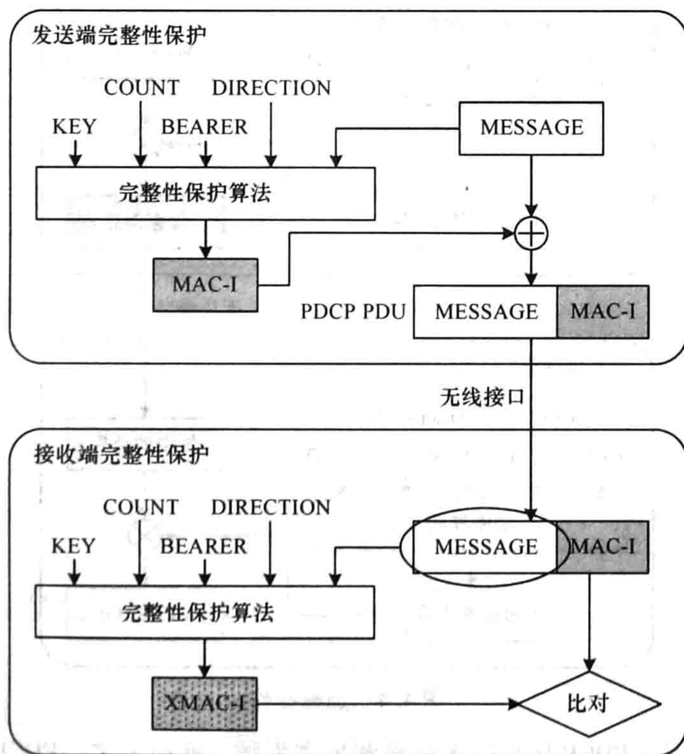


图 4.3　完整性保护操作

因为这个 4bit 的 MAC-I 附着在每一个 PDCP PDU 上，在 PDCP PDU 上的完整性保护会增加开销。因此，只有重要的数据包如 RRC 消息是完整保护的。换而言之，完整性保护只在 SRB 中应用。

4.3.2 加密

加密的目的是保持发送端和接收端之间的消息的机密性。原始的消息通过一个加密密钥流被隐藏起来（例如，XOR 操作），第三方无法恢复原始消息，除非它具有相同的加密密钥流。加密密钥流是加密算法通过以下几个输入参数得到的输出。

1）KEY：AS 获得的加密密钥；

2）COUNT：HFN + PDCP SN；

3）BEARER：无线承载 ID；

4）DIRECTION：无线承载的方向，即上行或下行；

5）LENGTH：将要产生的加密密钥流长度。

加密由每一个 PDCP SDU 实现。PDCP 发送端产生一个加密密钥流，然后基于 PDCP SDU 和加密密钥流，进行 XOR 操作。在接收端，接收到的 PDCP PDU 数据和相同的加密密钥流数据进行另一个 XOR 操作，从而恢复出原始的 PDCP SDU 数据。加密的全部操作如图 4.4 所示。

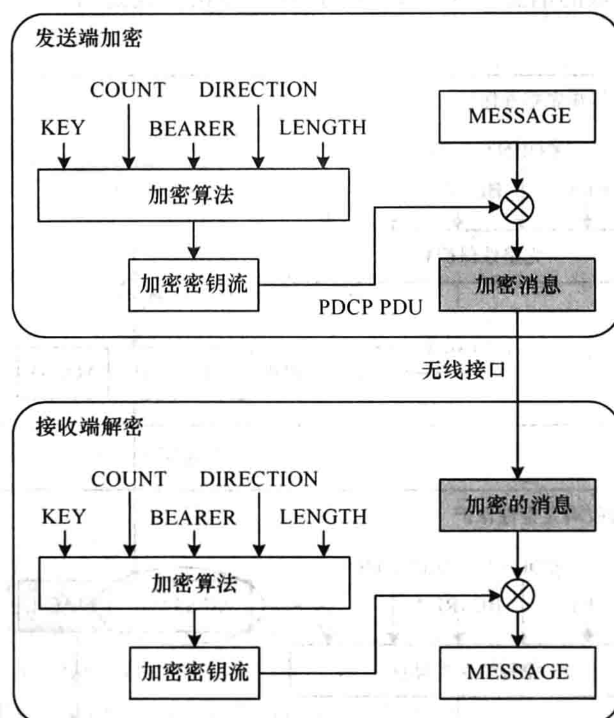


图 4.4 加密操作

值得注意的是，PDCP 接收端无法检测加密失败。换而言之，PDCP 接收端无法确定加密密钥流是否和 PDCP 发送端中的一样。然而，对于 SRB，一个非正确的加密密钥

流也可能引起完整性保护认证密钥的作废，所以加密失败可以通过完整性认证失败来处理。另一方面，对于 DRB，加密失败虽然无法通过完整性认证失败来处理（因为完整性保护并没有在 DRB 中应用），但它会在报头解压时导致失败。

当因为安全参数不同步（如 COUNT），导致加密失败的，一个不正确的加密密钥流将使一个 PDCP PDU 的压缩报头作废。这种情况下，报头解压将保持失败状态不执行任何恢复算法。作为处理这种情况的方法之一，PDCP 接收端可能通过监视是否有连续的报头解压失败进行加密失败检测。一个可选的处理方法是让上层负责检测。当服务质量因为加密失败变差时，UE 用户可能会更新 RRC 连接。

加密操作并不增加开销，因此，它对所有通过 PDCP 实体的数据包通用。

4.4　数据传输

PDCP 中的数据传输过程相对比较简单，图 4.1 所有的功能在数据传输中按顺序使用。然后，这个功能根据无线承载的类型有所不同。

在 PDCP 发送端中，从上层接收到的 PDCP SDU 保存在发送缓存中。PDCP 发送端可能在任何时候向缓存中的 PDCP SDU 分配 PDCP SN。值得注意的是，并非所有在缓存中的 PDCP 都需要分配 PDCP SN。当 PDCP 发送端决定发送 PDCP SDU 时，它开始按 PDCP SN 升序处理它们。这个处理有一系列步骤：报头压缩（DRB）、完整保护（SRB）、加密（DRB 和 SRB）。分配的 PDCP SN 用于产生一个 COUNT 值，这个 COUNT 用于完整性保护和加密。完整性保护应用于重要的 PDU 报头，这些 PDU 报头在加密后将附着。完整性保护也应用于 PDCP PDU 数据部分。如果应用完整性保护，加密将应用于 PDCP PDU 的数据部分和 MAC-I 块。加密后，PDCP SN 附着在 PDCP 报头，构造出 PDCP PDU。然后在合适的时间点，这些 PDCP 被递送到较低的 RLC 层。发送端行为和序列号如图 4.5 所示。

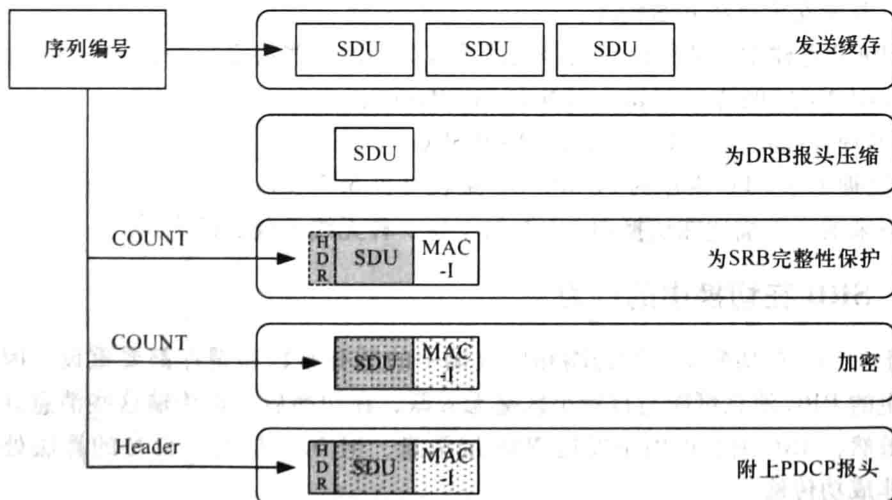


图 4.5　发送端中的序列编号

PDCP 接收端对 PDCP 发送端进行相反的操作。从 RLC 层接收到的 PDCP PDU 首先被移除报头，然后进行功能解密（对 DRB 和 SRB）、完整性认证（对 SRB）和报头解压（对 DRB）。经过这些步骤后，复原原始的 PDCP SDU，然后被递送到较高层。

在 PDCP 接收端中一个需要被考虑的方面是 PDCP SDU 重排序。通常情况下，并不进行重排序。若 AM DRB 在切换时处理过 PDCP SDU 重传，在切换后，SDU 重排序是必要的。4.6 节将进行深入说明。

4.5 SDU 丢弃

SDU 丢弃功能用于防止发送端的缓存溢出。每一个 SDU 只能在 PDCP 实体配置时期，停留在发送端缓存中。配置周期的值取决于无线承载的延迟要求。因此，PDCP SDU 丢弃功能也可用于保证 PDCP SDU 满足最大发送延迟要求。

当接收到来自较高层的 SDU，PDCP 发送端开始为这个 SDU 设置一个丢弃倒计时。当倒计时开始时，它将不会停止直到倒计时结束。当倒计时结束时，PDCP 发送端丢弃 PDCP SDU，如果 PDU 已经被发送到了 RLC 层，PDCP 发送端会通知 RLC 丢弃相关的 PDCP PDU。接着，如果 PDCP PDU 段已经被发送到接收端中，RLC 层会丢弃那些 PDCP PDU（见 5.6 节）。

当 PDCP 状态报告确认 PDCP PDU 成功发送，PDCP 发送端也可能丢弃 PDCP SDU。值得注意的是，在切换中，PDCP 状态报告的作用对 AM DRB 来说是可选的。

4.6 切换

UE 在其改变它的服务小区时将进行切换。在切换过程中，PDCP 层和 RLC 层按照 RRC 的请求重建。在重建过程中，PDCP 层进行几个操作，如重设报头压缩算法和上下文环境，改变安全算法和密钥等。

在 PDCP 重建中，值得注意的是无线承载类型的一些特定行为：

1）COUNT 的保持（例如，HFN 和 PDCP SN）；

2）处理存储在发送端缓存中的 PDCP SDU；

3）处理由于 RLC 重建的 PDCP PDU 接收（见 5.7 节）。

接下来的章节描述在切换中 PDCP 对于每一种无线承载的行为。

4.6.1 SRB 在切换中的行为

对于 SRB，在切换中，发送端和接收端中的所有参数和缓存都要重设。因为在源小区产生的 RRC 消息可能与目标小区毫无关联，在切换后，再传输这些消息并无任何作用。虽然，RRC 消息也用于发送 NAS 层消息，但 NAS 层有其自身的算法处理 NAS 消息的非成功传输。

在 PDCP 重建中，COUNT 值将初始化为 0，存储在发送端缓存的 PDCP SDU 将被丢

弃。如果某些 PDCP PDU 是因 RLC 重建而从 RLC 接收到的，它们也将被抛弃。简而言之，为了一个 SRB 而进行的 PDCP 重建等同于 PDCP 实体的重新初始化。

4.6.2　UM DRB 在切换中的行为

对于 UM DRB，COUNT 值将初始化，但是 PDCP SDU 和 PDU 在切换中并不丢弃。使用 UM DRB 的服务通常对数据包丢失并不敏感。然而，丢弃 PDCP SDU 和 PDU 降低了 QoS，所以较好的做法是尽可能将丢弃的数据包数目最小化。

在切换中，RLC 层和 PDCP 层将被重建。因此，在 PDCP 接收端中，由于 RLC 重建，某些 PDCP PDU 能够从 RLC 接收。为了使 PDCP PDU 的丢失最小化，在进行 PDCP 重建之前，PDCP 接收端通过处理 PDCP PDU 来重建 PDCP SDU。重建的 PDCP SDU 根据相关的 PDCP SN 升序顺序被递送到较高层。只有把它们发送到较高层后，PDCP 接收端才能进行 PDCP 重建。

在 PDCP 发送端中，存储在发送端缓存中的 PDCP SDU 将在切换后被再次处理，就如它们刚从较高层接收过来一样。无论在切换前 PDCP SN 是否分配给了 PDCP SDU，新的 PDCP SN 将分配到 PDCP SDU 上。值得注意的是，丢弃倒计时并不会为那些 PDCP SDU 重新开始，就如 4.5 节说明的那样。在网络端，源 eNB 向目标 eNB 下行转发在切换前尚未发送的 PDCP SDU。然后，目标 eNB 把这些转发的 PDCP SDU 当作新的从较高层接收到的 PDCP SDU。相对于从服务网关（Serving Gateway，S-GW）接收的 PDCP SDU，目标 eNB 可以优先转发这些新的 PDCP SDU。

图 4.6 展示了在下行链路中，UM DRB 在切换中的行为的一个例子。在这个例子中，源 eNB 在切换前首先转发 PDCP SDU11 ~ 13。在切换时，源 eNB 并不向目标 eNB

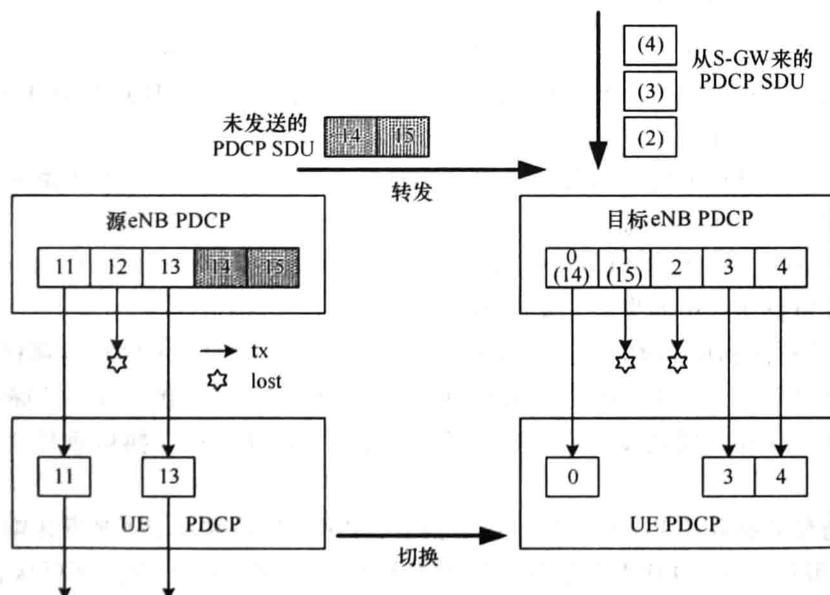


图 4.6　切换中的 UM DRB 行为（下行情况）

发送 PDCP SDU 14 和 15。然后，目标 eNB 分别向转发的 PDCP SDU 14 和 15 重新分配新的 PDCP SNs 0 和 1，再将它们发送给 UE。从 S-GW 接收到的新的 PDCP SDU 在被转发的 PDCP SDU 后接着编号为 SN 2、SN 3 和 SN 4，并按顺序发送。

4.6.3 AM DRB 在切换中的行为

AM DRB 用于支持无损传输。在通常情况下，无损传输由 AM RLC 实体保证。利用 RLC 状态报告，AM RLC 接收端通过否定应答通知未能正确接收 RLC PDU，并且当接收到 RLC 状态报告时，AM RLC 发送端将重传该数据。重传在所有的 RLC PDU 被 AM RLC 正确接收或到达最大重传次数之前都不会停止（见 5.4.3 节）。

然而，在切换中，AM RLC 实体并不能保证无损传输，因为 RLC 状态报告并没有更新到最新。即使 RLC 状态报告在切换前已传输，它也无法保证 RLC 状态报告将被 AM RLC 接收端成功接收。因此，在切换这个时间点，还有尚未被 RLC 状态报告确认的突出的 RLC PDU。关键问题是，如何保证 PDCP SDU 的无损传输包含在突出的 RLC PDU 中。

一个简单的解决方法是在 PDCP 层进行重传。如果某些 PDCP SDU 在切换前未被 RLC 层确认，PDCP 发送端在切换后重传它们。因为只有未确认的 PDCP SDU 需要重传，所以这种行为称为“有选择的重传”。

为了支持有选择的 PDCP SDU 重传，在进行 PDCP 重建之前，作为 RLC 重建结果之一，PDCP 接收端被要求处理接收到的 PDCP PDU。重建的 PDCP SDU 被存储在重排缓存（如果它们未排好序）或递送到较高层。在切换后，在切换前未被确认的 PDCP SDU 将由 PDCP 发送端重传，PDCP 接收端将把它们和存储在接收缓存中的 PDCP SDU 一起重排序，以向较高层有序递送这个 PDCP SDU。

为了能成功进行重排序，所有的 PDCP 状态都将改变，包括在切换中保持不变的 COUNT。因为重排是基于 PDCP SN 的，PDCP 发送端需要使用相同的 PDCP SN 重新发送未确认的 PDCP SDU。

支持重传和重排的网络端行为更为复杂，因为 PDCP 实体的位置从源 eNB 改变到了目标 eNB。对于在切换前和切换后未间断的 PDCP 操作，PDCP 状态变量将从源 eNB 转发到目标 eNB。另外，PDCP 发送端转发未确认和未传输的 PDCP SDU，PDCP 接收端转发存储在重排缓存中的失序 PDCP SDU。

PDCP 重传能利用 PDCP 状态报告进行进一步优化。就如之前解释的那样，RLC 状态报告不是最新的。因此，即使 PDCP SDU 的接收未经过 RLC 状态报告的确认，PDCP SDU 也可能在切换前成功发送。在这种情况下，PDCP SDU 在切换后重传就显得没有意义。

为了避免非必要的 PDCP 重传，在切换后，PDCP 接收端向 PDCP 发送端发送一个 PDCP 状态报告。这个 PDCP 状态报告描述了 PDCP 接收端的最小重排缓存状态，因此，它能避免非必要的已正确传输的 PDCP SDU 重传。值得注意的是，PDCP 状态报告的用途仅限于切换情况，并且，对于每个 AM DRB 都是可选配置的。

一个 AM DRB 在切换时的行为实例如图 4.7 所示。这个图只说明了下行情况，但是上行情况的行为是类似的。在这个实例中，源 eNB 首先发送 PDCP SDU 11 ~ 15，但是只有 PDCP SDU 13 和 15 由 UE 正确接收。基于 RLC 状态报告，源 eNB 在 RLC 层重传 PDCP SDU 11，12，14，在这个时间内，只有 PDCP SDU11 由 UE 正确接收。PDCP SDU 11 在序列中，因此，它会被递送到较高层。切换将在这个时间点及时开始。

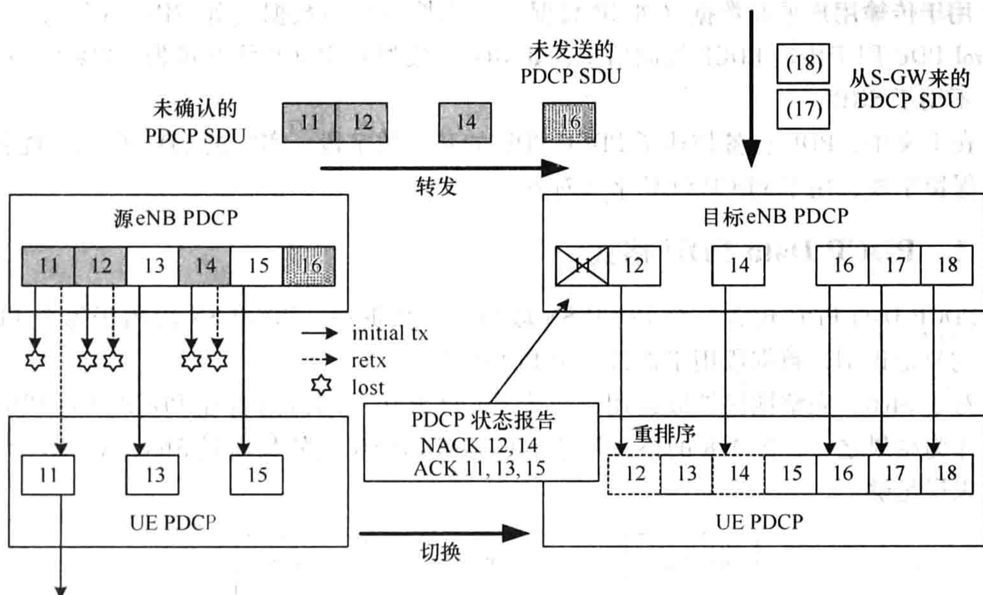


图 4.7 切换中的 AM DRB 行为（下行情况）

在切换中，源 eNB 只向目标 eNB 转发未确认的 PDCP SDU 11、12 和 14，不发送 PDCP SDU 16。目标 eNB 把它们存储在发送缓存中，准备在切换后发送。同时，UE PDCP 处理接收到的 PDCP SDU 13 和 15 失序，由于 RLC 重建和存储它们，并在缓存中重排。

在切换后，如果使用的 PDCP 状态报告配置后，UE 向目标 eNB 发送 PDCP 状态报告，表明，PDCP SDU 12 和 14 尚未接收，PDCP SDU 11、13 和 15 已正确接收到。基于 PDCP 状态报告，目标 eNB 识别到 PDCP SDU 11 在切换前已成功发送，并将其从发送缓存中丢弃。目标 eNB 只向 UE 发送 PDCP SDU 12 和 14。当接收到 PDCP SDU 12 和 14 时，UE 把它们和已存储的 PDCP 13 和 15 一起重排序，并按序号向较高层发送 PDCP SDU 12 ~ 15。

在目标 eNB，由 eNB 转发的尚未发送的 PDCP SDU16 和从 S-GW 接收的新 PDCP SDU 16 和 17 将在最后一个由源 eNB 发送的 PDCP SDU 后面赋予数字。因此，源 eNB 向目标 eNB 提供最后一个发送的 PDCP SDU 的 PDCP SN。当重新分配 PDCP SN 时，目标 PDCP 赋予由源 eNB 转发的 PDCP SDU 高优先权，相对于从 S-GW 接收的新 PDCP SDU。

如果使用的 PDCP 状态报告尚未配置，UE 不发送 PDCP 状态报告，目标 eNB 将重新发送 PDCP SDU 11，而不是 SDU 12 和 14。这种情况下，在 UE PDCP 中，基于序列编号检查 PDCP SDU 成功，则将丢弃 PDCP SDU 11。这个功能被称为重复删除，保证了较

高层对一个数据包只接收一次。

4.7 PDCP PDU 格式

在 PDCP 中，定义了两种 PDU：PDCP Data PDU 和 PDCP Control PDU。PDCP Data PDU 用于传输用户平面数据（如 IP 数据包）或控制平面数据（如 RRC 消息），PDCP Control PDU 用于传输 PDCP 控制信息，如 ROHC 反馈或 PDCP 状态报告。PDCP Control PDU 不用于 SRB。

在下文中，PDU 标签描述了 PDCP PDU 的基本数字段，实际的 PDU 格式可能包含一些保留字段，用于 PDCP PDU 字节对齐。

4.7.1 PDCP Data PDU 格式

PDCP Data PDU 包含一个 PDCP SN 段和一个数据段。PDCP SN 段用于每个 PDCP SDU 的身份识别，数据段用于携带一个 PDCP SDU。

对于 SRB，完整性保护被运用，一个 4B 的 MAC-I 端被附着在 PDCP Data PDU 末尾。作为结果之一，图 4.8 的格式用于 SRB。PDCP SN 端的长度是 5bit，对 RRC 消息传输来说足够。

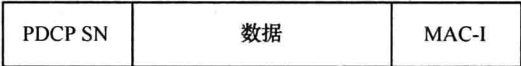


图 4.8　用于 SRB 的 PDCP Data PDU 格式

对于 DRB，MAC-I 端并未附着，因为完整性保护并未应用。作为替代的是，附着一个 1bit 的身份码，为了区分 PDCP Data PDU 和 PDCP Control PDU。这个 1bit 身份码称为“D/C”，被附着在 PDCP PDU 的前部。

图 4.9 展示了用于 DRB 的 PDCP Data PDU 格式。在这个图中，PDCP SN 段的长度是 12bit 或者 7bit。SN 段 12bit 时用于一般的 IP 数据包传输，因此它能用于 AM DRB 和 UM DRB。SN 段 7bit 时用于一个 VoIP 传输的优化长度，因此只能用于 UM DRB。

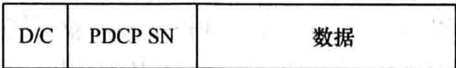


图 4.9　用于 DRB 的 PDCP Data PDU 格式

4.7.2 PDCP Control PDU 格式

PDCP Control PDU 包含 1bit 的“D/C”段，3bit 的“PDU Type”，和一个控制信息

的可变长度。“D/C”段用于区分 PDCP Data PDU 和 PDCP Control PDU。“PDU Type”段用于表明 PDCP Control PDU 携带的是哪种类型的控制信息。相应地，定义了两种控制信息：ROHC 反馈和 PDCP 状态报告。

用于 ROHC 反馈的 PDCP Control PDU 格式如图 4.10 所示。ROHC 反馈其本身由 ROHC 协议产生，但是由 PDCP Control PDU 装载。值得注意的是只有一个单独的 ROHC 反馈由 PDCP Control PDU 装载。由于 ROHC 协议同时用于 AM DRB 和 UM DRB，这个 PDCP Control PDU 也用于这两种 DRB。

D/C	PDU Type	ROHC反馈

图 4.10 用于 ROHC 反馈的 PDCP Control PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

PDCP 状态报告包含一个 12bit 的“FMS”段，和一个可变长度的“BITMAP”段。“FMS”代表“First Missing SN”，表明首先丢失的 PDCP SDU 的 PDCP SN。“BITMAP”段表明 PDCP SDU 及 PDCPN（FMS + bit position）是否在 PDCP 接收端中丢失。如果没有 PDCP SDU 丢失，“BITMAP”段将不被包含。图 4.11 展示了用于 PDCP 状态报告的 PDCP Control PDU 格式。

D/C	PDU Type	FMS	BITMAP

图 4.11 用于 PDCP 状态报告的 PDCP Control PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 36.323, “Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification (Release 10)”, www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第5章 无线链路控制层

3GPP在本章参考文献［1］中给出了无线链路控制（RLC）层的具体说明。RLC层通过把该层收到的业务数据单元（SDU）封装为由比其更低的媒体接入控制（MAC）层所指定的大小实现成帧的功能。RLC发送端通过分段以及串接RLC的SDU来组成RLC的协议数据单元（PDU），RLC的接收端则通过重组RLC的PDU来重建RLC的SDU。

RLC层通过逻辑信道和其低层即MAC层相连接。每个逻辑信道传输不同类型的业务数据，而逻辑信道的名称则反映出其传输业务数据的特点。在R8版本中，就像6.3.2节中所讲述的，一共定义了5种不同类型的逻辑信道。

位于RLC层之上的那一层通常是分组数据汇聚协议（PDCP）层，但在有些情况下是无线资源控制（RRC）层。在逻辑信道中的寻呼控制信道（Paging Control Channel，PCCH，）、广播控制信道（BCCH）和公共控制信道（CCCH）传输的RRC层消息并未要求安全性保护，因此越过PDCP层直接到达RLC层。除了上述的RRC信息，其他所有的控制面以及用户面的业务数据都将通过PDCP层和RLC层。

RLC层的功能是由RLC实体来实现的。当一个无线承载设备配置完成以后，一个RLC实体就建立了，相应地，当无线承载设备被解除时，RLC实体也随之移除。在RLC实体建立以后，它被会配置为以下3种数据传输模式中的一种：透明模式（TM），非确认模式（Unacknowledged Mode，UM）、确认模式（AM）。RLC实体根据不同的数据传输模式来实现不同的功能。

一个RLC实体只能被一个无线承载设备所使用，然而一个双向传输的无线承载设备可以拥有两个RLC实体，在这种情况下，两个具有不同数据传输方向非确认模式RLC实体被无线承载设备使用。

5.1 RLC层的功能和架构

本节根据RLC不同的数据传输模式给出了RLC层功能的概述，RLC层每项功能的具体描述将在后面的章节中给出。

5.1.1 透明模式RLC

RLC层的透明模式（TM）只有在传输一些不需要安全保护的特殊的RRC层消息时才会被使用。这些信息包括PCCH中传输的寻呼消息，BCCH中传输的广播系统信息消息，CCCH中传输的没有信令无线承载（SRB0）消息，它们不需要安全保护，越过了PDCP层直接到达了透明模式下的RLC层；因此透明模式下的RLC层高层是RRC

层。用来传输这些 RRC 消息的无线承载设备像 3.1 节中介绍的一样已经完成了资源块（Resource Block，RB）配置。

TM RLC 实体实质上是一个不执行任何 RLC 层功能的空实体。RLC 的 SDU 或 PDU 透明地穿过 TM RLC 实体，因而一个 RLC SDU 直接被映射为一个 RLC PDU，反之亦然。这就是这种数据传输模式被称作透明模式的原因。

由于一个 RLC SDU 直接被映射为一个 RLC PDU，RLC PDU 的报头结构并不包含在此时的 RLC PDU 中。由于无法获得 RLC PDU 的报头结构，在使用 RLC 层透明模式时有一些具体的要求。首先，一个 RLC PDU 必须包含一条完整的 RRC 层的消息。这就使得不同的 RLC PDU 相互之间没有关联，即使 RLC PDU 是被失序收到的，这也免去了对其重排序的需要。其次，在没有使用 RLC 序号的情况下，一个 RLC PDU 的重复接收必须被严格管理。对于 PCCH 和 BCCH 中的 RRC 消息，由于 RLC 重新发送以及 MAC 的混合自动重传请求（HARQ）功能均未被执行，此时不会发生重复接收的情况。对于 CCCH 中的 RRC 消息，由于可能执行 MAC HARQ 重新发送的功能，重复接收可能会发生。此时，重复接收会被 HARQ 进程探测到，重复的 RLC PDU 会被丢弃。

TM RLC 仅支持单向的无线承载设备。因此，一个 TM RLC 实体可以被配置为一个发送实体或者接收实体，实体中会有一块缓冲区来存储 RLC SDU，这些 RLC SDU 只有当收到 MAC 层给出传输机会通知时才会被传输到 MAC 层。TM RLC 实体的功能视图如图 5.1 所示。

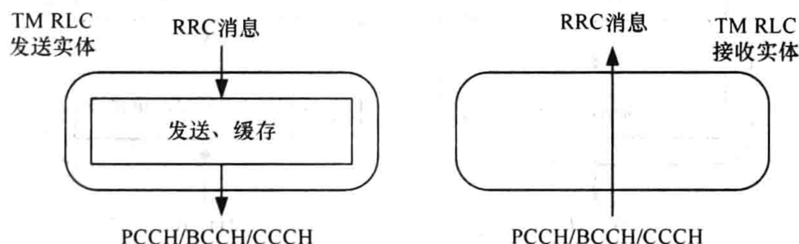


图 5.1　TM RLC 实体功能视图

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

5.1.2　非确认模式 RLC

RLC 层非确认模式（UM）用来优化对延迟敏感的用户数据业务，例如 IP 语音（VoIP）或者音频视频流业务。非确认模式只为用户面的数据业务服务，因此与其相关联的逻辑信道只能是专用业务信道（Dedicated Traffic Channel，DTCH），非确认模式下 RLC 的高层是 PDCP 层。

为了支持延迟敏锐的这种特性，在非确认模式下并不会执行重新发送数据的功能。这种“数据不重发”导致的负面影响是 RLC 的 PDU 经常容易丢失，但是对于有延迟敏感的数据业务来讲一些数据包的丢失通常情况下是可以接受的。由于此时不支持数据

重发，也不再需要来自接收端的反馈信息。没有反馈意味着 RLC 的 PDU 的传输结果无从确认，因此被称作非确认模式。

UM RLC 实体行使着成帧的功能，使得 RLC 的 SDU 与由低层 MAC 层所指定的 RLC 的 PDU 的大小相一致。成帧的功能包括 RLC 层发送端的分段和串接以及 RLC 接收端的重组。为了支持成帧的功能，一些与成帧有关的信息被封装在 RLC 的 PDU 报头。

PDU 的报头还包含着一个可以被用来认证识别 RLC 的 PDU 的序号，UM RLC 接收实体可以根据这些序号对所收到的 RLC PDU 进行重排序。重排序的功能是必要的，这是因为 MAC 层使用多重 HARQ 进程使 RLC 的 PDU 可能被失序接收。HARQ 重排序在 RLC 接收缓存区里进行，并且由重排序定时器和状态变量来实现。

和 TM RLC 类似，UM RLC 实体支持单向无线承载设备，因此一个 UM RLC 实体可以配置为一个发送实体或者一个接收实体。另外，UM RLC 也支持双向的无线承载设备，此时要使用一个发送实体和一个接收实体。UM RLC 实体功能视图如图 5.2 所示。

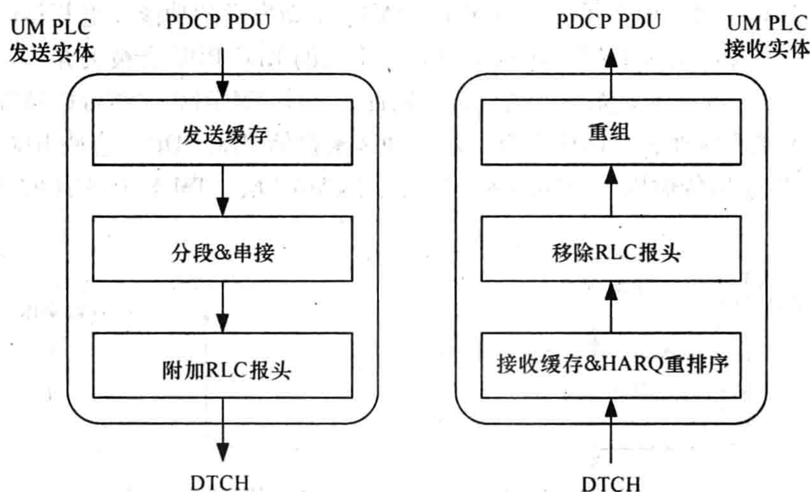


图 5.2 UM RLC 实体功能视图

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

5.1.3 确认模式 RLC

确认模式（AM）的关键特征是“重传”，确认模式在重传功能下确保传输过程中丢失更少的数据包。由于传输过程中数据包丢失更少，确认模式在控制面以及用户面的大多数数据业务中都有使用。在控制面中，除去那些使用透明模式传输的 RRC 消息以外的所有 RRC 消息都使用确认模式，它们在逻辑信道中的专用控制信道（DCCH）中传输。在用户面中，交互式背景类型的用户数据业务（例如网页浏览和文件传输）也使用确认模式。当延时要求不是很严格时，音频视频流业务也可以使用确认模式。用户面的数据业务在逻辑信道 DTCH 中进行传输。无论是控制面还是用户面，确认模

式下 RLC 层的高层均为 PDCP 层。

AM RLC 实体具有和 UM RLC 实体相似的成帧和 HARQ 重排序的功能，AM RLC 实体与自动重传请求（ARQ）相关的功能有轮询、状态报告、重传以及重分段，这些功能由发送/接收窗口和状态变量来实现。

发送端会根据来自接收端的反馈来执行重传的功能，这种反馈被称作 RLC 状态报告，它由 RLC 控制功能 PDU 所传输，因此，在一个 AM RLC 实体中，会有两种类型的 RLC PDU——RLC Data PDU，RLC Control PDU。这两种 PDU 由包含在 RLC 报头中的 1bit 长的标志位（“D/C”位）来区分。对 RLC Data PDU 来说，此时的 RLC PDU 的报头除了 RLC 的序号和成帧的相关信息还包括了 ARQ 相关的信息，例如轮询位和重分段的信息。

在确认模式传输过程中，RLC Control PDU 优先于 RLC Data PDU 传输，在 RLC Data PDU 中，需要重传的 RLC Data PDU 又优先于新发送的 RLC Data PDU。

一个 AM RLC 实体支持双向无线承载设备，并被配置为同时具有发送区和接受区。AM RLC 实体功能视图如图 5.3 所示。

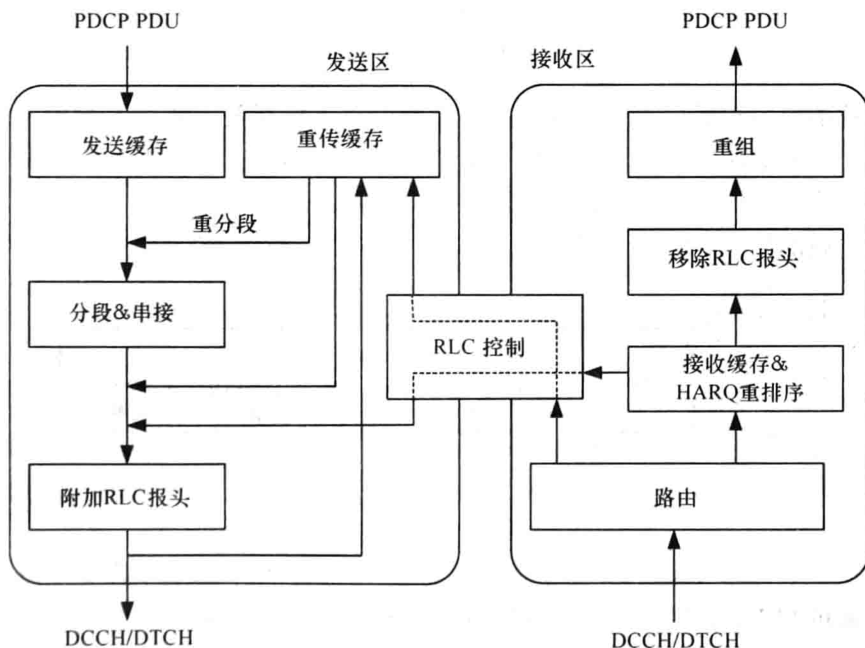


图 5.3　AM RLC 实体功能视图

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

5.2　成帧

当接收到来自 MAC 层的传输机会通知时，RLC 发送端把 RLC SDU 封装为 RLC

PDU，对非确认模式和确认模式来讲，MAC 层还规定了分配给 RLC 发送端 RLC 资源的大小。MAC 层在衡量多方面的因素以后来决定 RLC 资源的大小，这些因素包括发送资源、发送功率、无线条件和无线承载设备（RB）的服务质量（QoS）等。RLC 发送端通过封装新的 RLC Data PDU 来填充为规定的资源大小，在确认模式重传过程中，可能会有 RLC Control PDU 和 RLC Data PDU。一般来讲，RLC 发送端在每个传输机会中只会封装一个新的 RLC Data PDU。

在封装一个 RLC Data PDU 过程中，RLC 发送端会根据收到的指令进行分段或（和）串接。RLC Data PDU 的负载部分包括一个或多个经字节校正的 SDU（RLC SDU 或者 RLC SDU 的分段）。只有第一个和最后一个 SDU 才允许进行分段。在 RLC Data PDU 中，由于负载部分不允许填充，因而至少包括一个 SDU。RLC Data PDU 负载部分的格式如图 5.4 所示。

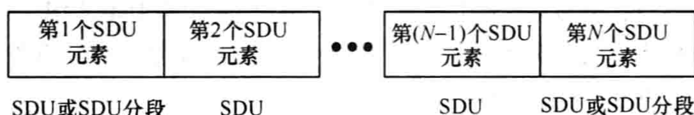


图 5.4　RLC Data PDU 负载部分

在负载部分的头部和尾部可能会进行分段。为了标明是否执行了分段功能，PDU 报头包括了一个 2bit 的指示位，叫作“帧信息位”（Framing Info，FI），如图 5.5 所示。具体来讲，第一个比特指示负载部分的第一个字节是否是 SDU 的第一个字节，第二个比特指示负载部分的最后一个字节是否是 SDU 的最后一个字节。

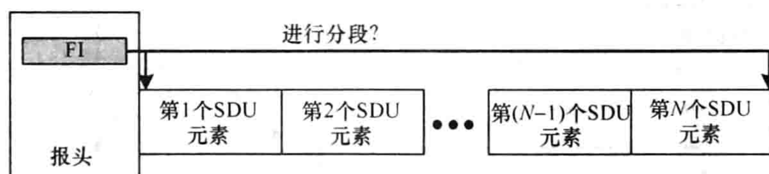


图 5.5　帧信息位

如果在一个 RLC Data PDU 中串接了不止一个 SDU，RLC 接收端需要知道每个单元的长度来解析 PDU，因此，对每个 SDU 来说，PDU 的报头包括了一个 11bit 的指示位，叫作“长度指示位”（Length Indicator，LI），以此来指示通信中 SDU 的字节长度，如图 5.6 所示。指示位为 11bit，一个 SDU 最大为 2048B，但这并不意味着一个 SDU 最大为 2048B，因为一个大于 2048B 的 SDU 可以被分段成为多个 RLC Data PDU。注意最后一个 SDU 中并不包括长度指示位，这是因为最后一个 SDU 的大小可以根据 RLC PDU 的总大小和其他的长度指示位推断出来。因此，如果 PDU 中只包括一个 SDU，那么在 PDU 的报头没有长度指示位。

在 RLC 接收端，重组的功能是利用帧信息位和长度指示位来重建 SDU。只有所有片段可获得的 SDU 才从 RLC 数据 PDU 重新组合。如果一个 SDU 有分段的缺失，它就

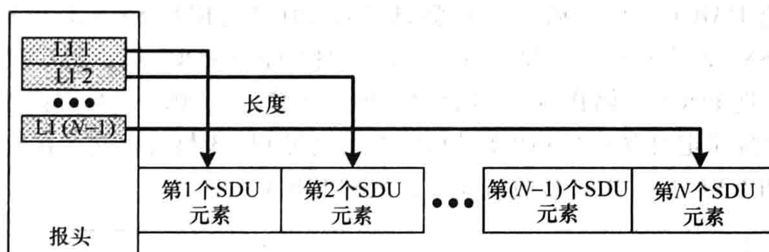


图 5.6　长度指示位

会被丢弃（非确认模式）或者接收端发送重传的请求（确认模式）。除了那些非确认模式中丢弃的 SDU，重组的 SDU 会按照 RLC 序号以升序方式被传送至高层。

5.3　重排序

在非确认模式和确认模式中，重排序是当 RLC 数据 PDU 被失序接收时，把 RLC 数据 PDU 按照序号顺序进行重新整理。由于多重 HARQ 进程在 MAC 层中并行运行“停止-等待”操作（见 6.8 节），RLC 数据很可能发生 PDU 的失序接收。由于失序接收是由 HARQ 引起的，因此这项功能又被称为“HARQ 重排序”。

对 RLC Data PDU 失序检测是基于 PDU 报头结构中的 RLC 序号（SN）。RLC SN 唯一标识通信中的 RLC Data PDU，在非确认模式中序号长度为 5bit 或 10bit，在确认模式中序号长度是 10bit。RLC 接收端通过比较上一次顺序接收到的 PDU 的 RLC SN 和本次接收到的 RLC SN 来检测失序的 PDU。如果两者之间存在中断，RLC 接收端就判定接收到的 RLC Data PDU 是失序的，并且根据 RLC SN 把它放入接收缓存。只有在先前丢失的 PDU 被接收和处理以后，缓存中的 PDU 才会被处理。

有时 RLC Data PDU 的 HARQ 没有成功发送，例如，可能存在 HARQ 失效的情况，也就是说在 HARQ 重传的最大限度内并未成功发送，或者叫作 NACK-to-ACK 错误，这时，HARQ 进程接收端的 NACK 反馈被 HARQ 进程发送端曲解为 ACK 反馈。这种情况下，RLC 接收端无法接收到来自 HARQ 进程的 RLC Data PDU，因此也没有必要继续等待下去。

为了检测 HARQ 进程中传输数据的丢失和限制丢失 PDU 的最大等待时间，RLC 接收端会使用重排序定时器。注意在一个 RLC 实体中只能有一个重排序定时器。当接收到一个失序的 PDU 时，重排序计时器就开始启动；当所有的失序 PDU 变为顺序排列时（即所有具有比失序 PDU 更低的 RLC SN 的丢失的 PDU 被接收到），重排序定时器终止。当定时器运行过程中，RLC 接收端等待丢失的 PDU。如果重排序定时器超时后仍未收到丢失的 PDU，RLC 接收端判定为 HARQ 进程中发生了 PDU 的丢失，并且不再等待这些 PDU。当重排序定时器终止或者超时以后，则认为对失序 PDU 的 HARQ 重排序已经完成。

失序接收和 HARQ 重排序的例子如图 5.7 所示。图 5.7 中，由于 PDU2（RLC SN =

2 的 PDU）的 HARQ 传输失败，初始尝试然而 PDU3（RLC SN = 3 的 PDU）成功，PDU3（RLC SN = 3 的 PDU）失序接收。在接收到失序的 PDU3 后，RLC 接收端启动重排序定时器并把 PDU3 存储在 RLC 接收缓存中。接着，在 RLC 接收端接收到 PDU2 以后，则终止重排序定时器并对 PDU2 进行处理，此时 PDU3 仍被存储在接收缓存中，只有在处理完 PDU2 以后，RLC 接收端才可以处理 PDU3。

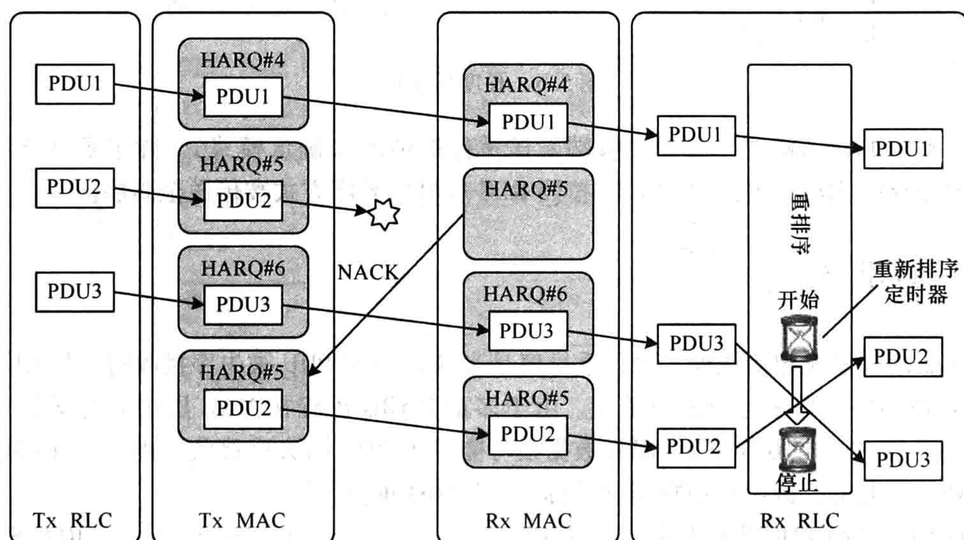


图 5.7 失序接收和 HARQ 重排序

在重排序定时器超时以后，RLC 接收端停止等待丢失的 PDU，开始进行随后的处理，即把存储的 RLC Data PDU 重组为 RLC SDU（对于非确认模式）或者发送状态报告要求重传丢失的 PDU（对于确认模式）。当 PDU 的 RLC SN 比下一个紧随着触发重排序定时器的失序 PDU 而丢失的 PDU 的 SN 小时，接收端会对其执行重组或者重传请求。对于这些 PDU，非确认模式下 RLC 接收端利用存储的 PDU 重组 SDU，确认模式下 RLC 接收端要求重传丢失的 PDU。这之后如果还有 PDU 留在接收缓存中等待下一个丢失的 PDU，RLC 接收端为具有最高的 RLC SN 的 PDU 重启重排序定时器。这是为了确保相似的重排序延时被分配到不同的 PDU 而不是逐次累加。

图 5.8 描述了一个 HARQ 重排序操作的例子。在 t = T0 时，RLC 接收端接收到失序的 PDU4，启动重排序定时器。当定时器运行过程中，RLC 接收端收到了更多的 PDU，例如 PDU2、PDU5、PDU6、PDU8、PDU10，但是 PDU4 此时依然在接收缓存中，这是因为先前的 PDU——PDU1 和 PDU3——依然处于丢失状态。在 t = T1 时，重排序定时器超时，RLC 接收端开始进行重组或者要求重传。对这些 PDU 这些处理会到 PDU7 为止，因为 PDU7 是紧随着触发定时器的 PDU4 的下一个丢失的 PDU。具体来说，非确认模式下 RLC 接收端利用存储的 PDU2、PDU4、PDU5、PDU6 这些 PDU 重组 SDU；确认模式下 RLC 接收端要求重传 PDU1、PDU3 这些丢失的 PDU。接着，重排序定时器会重新启动，对稍后接收到的 PDU 进行 HARQ 重排序过程。为了 PDU10 重排序定时器

重启，是由于接收缓存中所有 PDU 存储的具有最高 RLC SN 的 PDU。

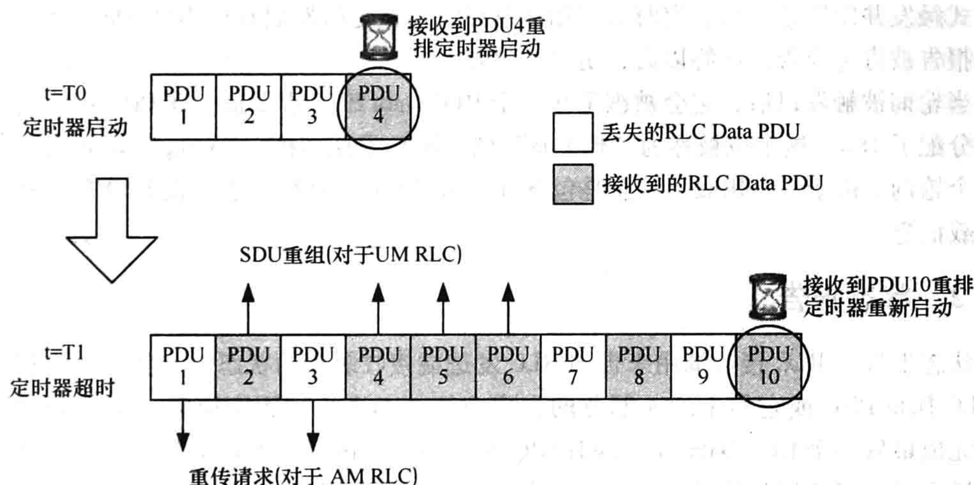


图 5.8　HARQ 重排序操作示例

5.4　ARQ 操作

在确认模式下执行 ARQ 是为了确保数据传输丢失得更少。在基本的 ARQ 中，如果数据包被接收端否定应答，发送端就会重新发送数据包。除此之外，确认模式下 RLC 发送端可以要求从接收端得到状态报告（被称为“轮询”），并为重传执行 PDU 的重分段。与 ARQ 相关的每项功能描述如下。

5.4.1　轮询

轮询功能是 RLC 发送端用来从 RLC 接收端获得状态报告的。在发送端，只有 PDU 在发送窗口之内才允许进行数据的发送，并且发送窗口只根据状态报告来更新。因此，如果状态报告经过延时才收到，发送窗口就会停滞，发送过程也会发生阻塞。另外，由于未被确认的 PDU 会一直保存在重传缓存中，直到它们被接收确认为止，因此发送端的缓存可能会溢出。为了避免这些问题，RLC 发送端需要及时收到状态报告，因此在 RLC 发送端规定了下列四项触发方式来触发轮询。

1）预定数量的 PDU 被发送：如果预定数量的 PDU 已被发送而中间没有发生轮询，此时轮询功能被触发。RLC 发送端中含有一个 PDU 计数器来计算新发送的 PDU 的个数，当有触发方式触发并发送轮询后，PDU 计数器复位至 0。

2）预定数量的字节数被发送：如果包含了预定字节数的若干个 RLC Data PDU 已被发送而中间没有发生轮询，此时轮询功能被触发。RLC 发送端中含有一个字节计数器来计算新发送的字节个数，当有触发方式触发并发送轮询后，字节计数器复位至 0。

3）缓存中最后一个 PDU 被发送：如果发送的 PDU 在传输缓存和重传缓存中是最后一个 PDU（等待确认发送的 RLC Data PDU 除外），此时轮询功能被触发。

4）轮询重传定时器超时：在轮询重传定时器超时以后，轮询功能被触发。当有触发方式触发并发送轮询后，定时器启动或重启，当让定时器启动的 RLC Data PDU 通过状态报告被肯定或否定应答以后，定时器停止。

当轮询被触发以后，它会被携带在一个 RLC Data PDU 中发送。在 PDU 报头为轮询功能分配了 1bit。这个位被称为“Polling”域，RLC 发送端把“Polling”域置为 1 来发送一个轮询。由于“Polling”域总是包含在 PDU 报头，因此发送轮询时没有额外的附加负载信息。

5.4.2 状态报告

状态报告是 RLC 接收端用来告知 RLC 发送端接收缓存的状态的。状态报告包括关于 RLC Data PDU 或它们中的一部分的肯定应答（ACK）和否定应答（NACK）信息，直到完成最后一个 RLC Data PDU 的 HARQ 重排序。当执行有关 RLC Data PDU 的 HARQ 的重排序后，RLC 接收端遇到以下条件之一则触发状态报告。

1）接收到“Polling”域被置为 1 的 RLC Data PDU；

2）探测到 RLC Data PDU 的丢失。

被触发的状态报告需要被传送至 RLC 的发送端，然而如果在较短时间间隔内触发了多重状态报告，由于它们所包含的信息几乎相同，因此传输它们的无线效率将会较低。另外，一个 RLC Data PDU 重复 NACK 会导致不必要的重传和重复接收，因此，较短时间间隔内触发的多重状态报告是被禁止发送的。

为了达到这个目的，RLC 接收端使用了状态报告禁止功能，禁止的间隔是由状态禁止定时器控制的。当状态报告发送，定时器开始启动，并从不停止，直到定时器超时为止。在定时器运行期间，RLC 接收端不允许发送额外的状态报告，另外，即使定时器运行过程中触发了多重状态报告，在定时器超时后只会发送一个状态报告。状态报告禁止功能用这种方式来避免频繁发送状态报告。然而，应当注意的是，过长的禁止间隔可能会引起 RLC 发送端的窗口停滞，因此禁止间隔的长度需要小心控制来达到无线效率和传输时延之间的平衡与协调。

如果传送没有被禁止，RLC 接收端会形成一份状态报告。正如 5.8 节所讲述的，这份状态报告由状态 PDU（STATUS PDU）所运载。无论何时触发状态报告，状态报告均包含最新的缓存状态信息。由于状态报告的传输由状态报告禁止功能所控制，因此一份好的状态报告应包括尽可能多的信息。一般来讲，RLC Data PDU 直至最后一个完成 HARQ 重传的 RLC Data PDU 的状态信息均包含在状态报告中，然而，我们无法始终确保由 MAC 层指示的 RLC 资源大小能够处理所要求的状态报告的大小。此时的状态报告可能只包含部分信息——也就是说此时的状态信息包含到某个 RLC SN 比最后一个 RLC Data PDU 的 RLC SN 低的 RLC 数据 PDU——以此来适应 RLC 的资源大小。

5.4.3 重传

当 RLC 发送端从 RLC 接收端那里收到状态报告，发送端将重传在状态报告中被指

示为 NACK 的 RLC Data PDU。重传应用如下一条简单准则：只有被指示为 NACK 的 RLC Data PDU 可以被重传。换句话说，RLC 发送端不允许随意重传 RLC Data PDU。

这条规则的一个例外是由轮询目的而发生的自发重传。如果由于缺少状态报告无法重传 RLC Data PDU，与此同时，由于数据流的结束或者窗口停滞而无法发送新的 RLC Data PDU，那么 RLC 发送端将不发送任何数据，因此也没有办法发送轮询。此时如果接收端没有遇到状态报告的触发条件，可能会发生锁死的状态。为了避免这种情况的发生，如果无法获得传输的 RLC Data PDU，发送端允许进行自发的重传。具体来说，发送端挑选一个没有被状态报告确认的 RLC Data PDU，然后在 PDU 的报头中加入轮询来重传。自发的重传还避免了由于数据流的结束或窗口停滞引起的严重时延。

当重传 RLC Data PDU 时，RLC 发送端可能会改变 PDU 的报头结构来设置“Polling”域，“Polling”域根据 5.4.1 节中的轮询触发方式来设置。除此之外，除非原始的 PDU 被重分段，否则发送端将会不做任何改动来重传 PDU。

RLC Data PDU 重传的最大个数由 RRC 层控制。可能会发生 RLC 协议的错误，例如，在对等端 AM RLC 实体中状态变量的不同步，理论上这会导致重传的连续失败。为了弥补这类协议错误，在 AM RLC 实体中定义了重传的最大个数。由于重传的最大个数对 QoS 有影响，最大个数需要根据每个无线承载设备的具体特点来分别配置。当在配置的最大重传个数内 RLC Data PDU 仍未成功发送，AM RLC 实体就会指示 RRC 层重传失败，RRC 层接着就会初始化 RRC 连接重建过程。

5.4.4 重分段

一般来说，RLC 发送端除了可能会修改 PDU 的“Polling”域以外，将会不做其他改动来重传原始的 PDU。然后，由于多变的无线条件，重传中 RLC 资源大小有可能比原始 PDU 的大小更小。这时，发送端将会把原始 PDU 重分段为更小的 PDU 片段来匹配可用的 RLC 资源大小。原始的 PDU 被称为确认模式数据（Acknowledged Mode Data，AMD）PDU，每个原始 PDU 的分段被称为 AMD PDU 分段。如果不进行重分段，RLC 发送端会失去传输机会，这会造成无线资源的浪费，重分段可以帮助提升无线资源的利用效率。

重分段的一个例子如图 5.9 所示。待发送的 PDU1 初始时分配了 900B 的大小，但是由于无线条件变差，为了重传它被分为 400B 和 500B 的两个 PDU 片段。在接收端，一个 PDU 的所有分段被聚集在一起来重建原始的 PDU。

为了让 RLC 接收端区分 AMD PDU 分段，PDU 的报头结构中包含了一个 1bit 的重分段标志位（Re-segmentation Flag，RF）。另外，为了让接收端更好地从 AMD PDU 分段中重建 AMD PDU，指明 PDU 分段中包含的原始 PDU 的比例是非常必要的。这由 15bit 的分段偏移（Segment Offset，SO）来完成，当重分段标志位指出当前 PDU 是 AMD PDU 分段时，SO 就被包含在 AMD PDU 的报头结构中。在只考虑负载部分的情况下，SO 指明了 AMD PDU 分段在原始 AMD PDU 中的字节开始位置。

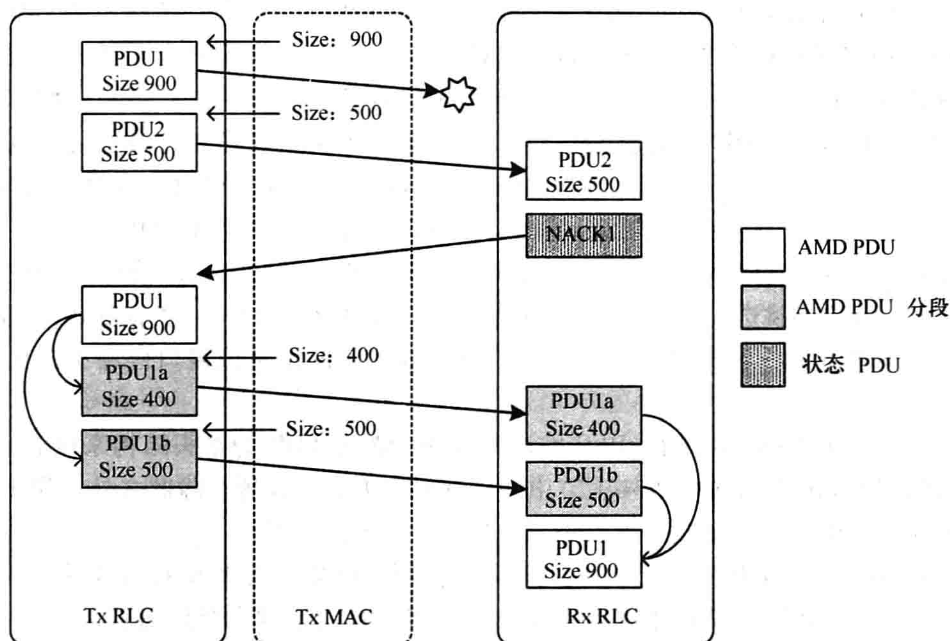


图 5.9　重传中的重分段

以图 5.9 中的 PDU1 为例子，AMD PDU 和 AMD PDU 分段之间的关系如图 5.10 所示。从图中可以看出，AMD PDU 的分段由于包括了 SO，因此比 AMD PDU 的报头结构稍大。注意 AMD PDU 分段中的帧信息位和长度指示位是根据 AMD PDU 的容量来设定的。

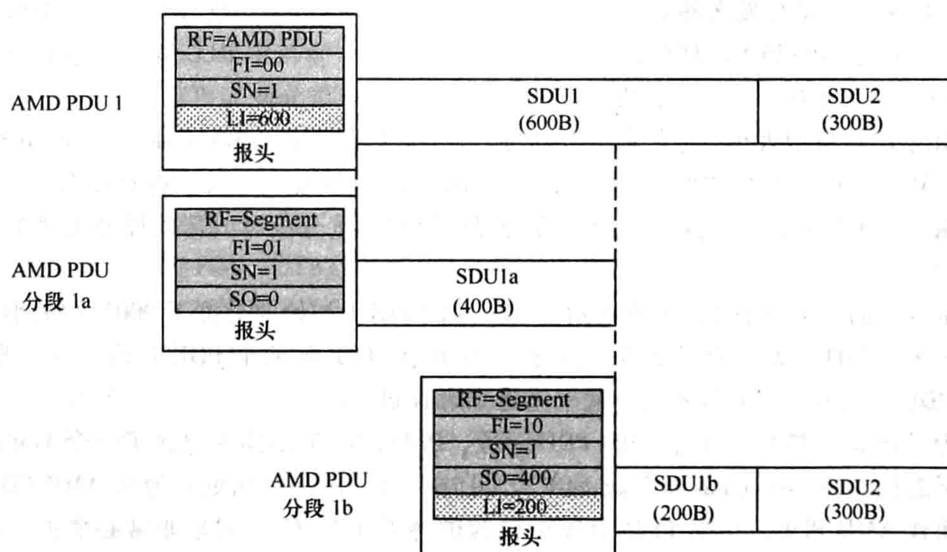


图 5.10　AMD PDU 和 AMD PDU 分段

5.5 窗口操作

为了能更高效地运作协议，在非确认模式和确认模式中使用了 RLC 窗口。窗口是在考虑 RLC SN 的基础上定义的，窗口的大小被配置为 SN 空间的一半大小。也就是说，非确认模式下，对 5bit SN，窗口大小为 16，对 10bit SN，窗口大小为 512。确认模式下窗口大小为 512。

RLC 窗口的作用在非确认模式和确认模式中并不相同，因此，根据 RLC 的工作模式窗口的操作也不相同。本节中，非确认模式和确认模式下的窗口操作将会分开叙述。

5.5.1 非确认模式窗口操作

非确认模式下 RLC 接收端会保持一个接收窗口来识别接收到的 RLC Data PDU 是新的 PDU 还是已经接收过的 PDU。如果接收到的 PDU 的 SN 位于接收窗口之外，接收端认为它是新的 PDU，如果接收到的 PDU 的 SN 位于接收窗口之内，接收端认为它是已经接收过的 PDU。

在接收到一个新的 PDU 以后，RLC 接收端将其存储在接收缓存中，并且更新接收窗口，使得接收窗口的上边界被设置为（1 + 接收到的新 PDU 的 SN）。由于每次接收到一个新的 PDU 以后，接收窗口都会更新，非确认模式下的窗口操作被称为“拉伸操作”（即具有最高 SN 的 PDU 拉伸接收窗口）。

如果新接收到的 PDU 与上一个被传送至高层的 PDU 成顺序排列，新的 PDU 也会被立即传输至上层；否则，因为被失序接收到，需要对新的 PDU 进行 HARQ 重排序。当完成 HARQ 重排序操作时，失序的 PDU 才会被传送至高层（见 5.3 节）。

当接收到一个已接收过的 PDU 时，RLC 接收端并不会更新接收窗口而是进行重复检测。如果被接收到的 PDU 被确认为重复接收，即具有同样 SN 的 PDU 已存在于接收缓存中或者已经被传送至高层，RLC 接收端将会丢弃此 PDU。重复接收通常是由 HARQ 进程中 ACK 与 NACK 的解释错误引起的。

如果接收到的 PDU 被认为不是重复接收，RLC 接收端就将其存储在接收缓存中，当所有之前的 PDU 已被传送至高层或者由于新 PDU 的接收导致的窗口更新而使现存储的 PDU 落在接收窗口之外，存储的 PDU 就会被传送至高层。注意已接收过的 PDU 的递送交付并不会更新接收窗口。

5.5.2 确认模式窗口操作

确认模式下 RLC 会同时用发送窗口和接收窗口来支持 ARQ。当一个顺序的 PDU——即 PDU 的最小 SN 与发送窗口的下边界相等——被 RLC 接收端确认后，RLC 发送端就会更新发送窗口。窗口的更新是为了让窗口的下边界与下一个顺序 PDU 的 SN 相等。由于窗口是根据顺序 PDU 来更新，确认模式下的窗口操作又被称为“推进操作”（即具有最低 SN 的 PDU 推动发送和接收窗口的更新）。

RLC发送端不允许发送SN在发送窗口之外的PDU。在没有收到来自RLC接收端对顺序PDU的确认时，RLC发送端不能更新发送窗口，因此发送会陷入阻塞状态——即无法发送新的PDU。这种情况被称为“窗口停滞”，为了实现快速的数据传输，必须避免这种问题的发生。

和RLC发送端类似，RLC接收端也不允许接收SN在接收窗口之外的PDU。如果接收到的PDU SN在接收窗口之外，接收到的PDU会被RLC接收端丢弃。在HARQ进程处理已经接收到的PDU并把其送至高层过程中发生ACK与NACK的解释错误时，这种情况可能会发生。如果接收到的PDU的SN在接收窗口之内，除非它是重复接收，否则就会被存储在接收缓存中，如果是重复接收，该PDU就会被丢弃。当PDU变为顺序排列时，即所有先前的PDU已交付给高层，存储的PDU会交付给高层。

5.6 SDU丢弃过程

RLC层无法触发存储在发送缓存中的SDU的丢弃过程。实际上，SDU的丢弃（如4.5节讲述的）是由PDCP层触发的。只有当PDCP层给出了丢弃指示后RLC层才会进行SDU的丢弃。

当对一个RLC SDU发出了丢弃指示后，如果SDU还未被发送，RLC发送端就会丢弃指示的SDU；但是如果该SDU的任何部分已经形成了RLC PDU，RLC发送端不会丢弃它而是完成此SDU的发送过程。这意味着确认模式下RLC发送端会持续重传SDU直至RLC接收端正确接收到。

注意透明模式下RLC发送端不会丢弃在发送缓存中的SDU，因为它没有和PDCP层相连接。

5.7 RLC重建过程

在切换过程中，RRC层要求RLC层与PDCP层实施重建。在重建过程中，RLC层会复位所有的状态变量和定时器至其初始值，另外还会丢弃发送缓存中的SDU和PDU。但是，如果存储在接收缓存中的PDU可以被重组为SDU，那么它们不会被丢弃而是被重组为SDU。在一般的重组过程中，只有那些可以获得所有分段的SDU才会从存储的PDU中重组出来。接下来重建好的SDU会按照通信过程中PDU的RLC SN以升序的方式被传送至高层。

我们应当注意，在重建过程中，AM RLC也会传送失序的SDU。一般情况下，确认模式不会把失序PDU传送至上层，然而在RLC重建过程中，即使正确接收到的SDU是失序的，它们也会被传送至PDCP层，紧接着PDCP层就会进行选择重传（见4.6节）。

5.8 RLC PDU的格式

RLC PDU根据它们所传输的内容被分为两种类型——RLC Data PDU和RLC Control

PDU。从高层接收到的用户面数据（即 RLC SDU）由 RLC Data PDU 进行传送，在 RLC 层形成的控制信息由 RLC Control PDU 进行传送。所有 RLC 工作模式均会使用 RLC Data PDU，但是只有确认模式会使用 RLC Control PDU。RLC Data PDU 又被进一步分为 TMD PDU、UMD PDU、AMD PDU 和 AMD PDU 分段。对于 RLC 控制 PDU，我们只定义了一种类型——状态 PDU。RLC PDU 是一个经过字节校准的比特串（例如长度上是 8bit 的倍数）。

5.8.1 TMD PDU 格式

透明模式数据（Transparent Mode Data，TMD）PDU 只由一个完整的 SDU 构成。对于 TMD PDU 来说由于在透明模式下没有成帧的功能，因此不再需要 PDU 的报头结构。RLC SDU 和 TMD PDU 之间总是存在一一对应的关系。TMD PDU 的格式如图 5.11 所示。

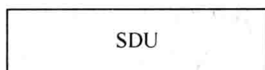


图 5.11 TMD PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

5.8.2 UMD PDU 格式

非确认模式下数据（Unacknowledged Mode Data，UMD）PDU 包括了 PDU 的报头结构以及一个或多个作为完整 SDU 或者 SDU 分段的 SDU。PDU 的报头进一步分为固定报头和扩展报头，固定报头由帧信息位（Framing Info，FI）和序号（SN）构成，扩展报头由一个或多个长度指示位（Length Indicators，LI）构成。

1）帧信息位（FI）：这个 2bit 大小的区域指明了包含在负载部分开头或结尾的 RLC SDU 是否被分段。第一个比特指明负载部分的第一个字节是否是 SDU 的第一个字节，第二个比特指明了负载部分的最后一个字节是否是 SDU 的最后一个字节。

2）序号（SN）：这一 5bit 或者 10bit 的域指明了通信中的 UMD PDU 的序号。当无线承载设备建立起来时，RRC 层配置了 SN 域的长度。序号随着 UMD PDU 的数目而不断增大，因此它被用来唯一标识 UMD PDU。

3）长度指示位（LI）：这一 11bit 的区域指明了通信 SDU 的字节长度。除了最后一个 SDU 单元，每个 SDU 单元均包含 LI 域。长度指示位和在 UMD PDU 中的 SDU 元素的排列顺序相同。

只有当 UMD PDU 中含有超过一个的 SDU 时才会使用扩展报头。为了使每个固定报头和扩展报头都经过字节校准，在 PDU 的报头中可能包含一个保留位或者填充位。要注意它们不在负载部分因为每个 SDU 都是经过字节校准的。图 5.12 描述了 UMD PDU 的格式。

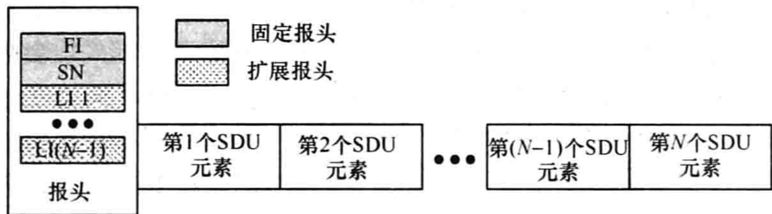


图 5.12 UMD PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

5.8.3 AMD PDU 格式

与 UMD PDU 类似，确认模式下数据（AMD）PDU 包括了 PDU 的报头结构以及一个或多个作为完整 SDU 或者 SDU 分段的 SDU。另外，它的报头也如 UMD PDU 一样由帧信息位（FI）、序号（SN）和长度指示位（LI）构成。唯一不同是 AMD PDU 中 RLC SN 是 10bit。除了以上提到的区域，AMD PDU 还包含了数据/控制（Data/Control，D/C）域，重分段标志位（RF）和轮询位（Polling，P）来支持状态报告和重分段。

1）数据/控制（D/C）：这 1bit 的指示域指明了 RLC PDU 是 RLC Data PDU 还是 RLC Control PDU。

2）重分段标志位（RF）：这 1bit 的指示域指明了 RLC PDU 是 AMD PDU 还是 AMD PDU 分段。

3）轮询（P）：这 1bit 的指示域指明了当前 AM RLC 实体的发送侧是否向对端接收侧请求状态报告。

图 5.13 显示了 AMD PDU 的格式。

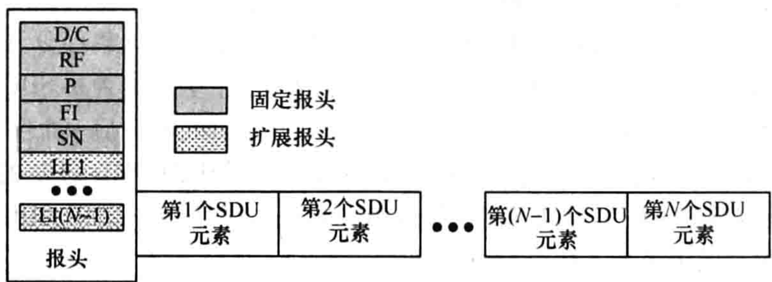


图 5.13 AMD PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

5.8.4 AMD PDU 分段格式

在重传过程中使用重分段时就会使用 AMD PDU 分段。如果重分段标志位指示当前

的 RLC PDU 是一个 AMD PDU 分段，那么其他的域诸如最后分段标志（LSF）和分段偏移（SO）也会包含在 PDU 的报头来提供与重分段相关的信息。

1）最后分段标志（LSF）：这 1bit 的域指明了当前 AMD PDU 分段的负载部分是否是 AMD PDU 负载部分的最后一段。

2）分段偏移（SO）：这一 15bit 的域指明了 AMD PDU 分段的负载部分在原始 AMD PDU 中的起始位置。

图 5. 14 显示了 AMD PDU 分段的格式。

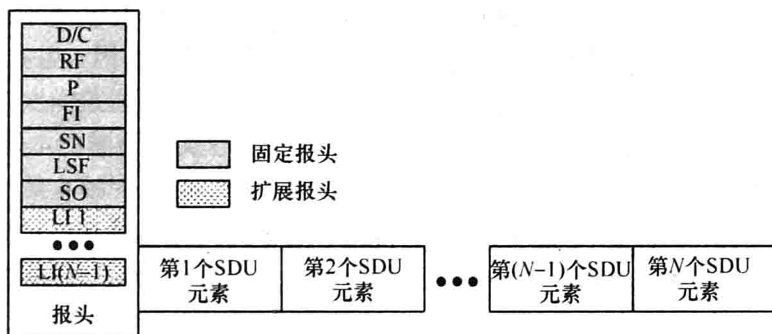


图 5. 14　AMD PDU 分段格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

5. 8. 5　状态 PDU 格式

在确认模式下，当 RLC 接收端向 RLC 发送端传输状态报告时就会使用状态 PDU。每个 AMD PDU 的接收状态即 ACK 或 NACK 均会被提供直到完成某个 AMD PDU 的 HARQ 重排序。状态 PDU 仅仅是列出了直到 SN = ACK_SN 的某个 AMD PDU 的丢失部分。

1）控制 PDU 类型（Control PDU Type，CPT）：这一 3bit 的域指明了 RLC Control PDU 的类型，当前，状态 PDU 是唯一定义的 RLC Control PDU。

2）ACK_SN（Acknowledgment SN）：这一 10bit 的域指明了接收状态没有被状态 PDU 报告的第一个 AMD PDU 的序号。RLC 发送端应该说明所有的 AMD PDU 是除去在 RLC 接收端已经确认接收成功的序号为 SN = ACK_SN 的 AMD PDU，也不包括 NACK 元素中列出的 AMD PDU。

3）NACK_SN（Negative Acknowledgment SN）：这一 10bit 的域指明了尚未被接收端接收到的所有部分的 AMD PDU 的 SN。如果 AMD PDU 的一部分丢失，“SOstart”和“SOend”域将会紧随在 NACK_SN 之后来指明丢失部分在 AMD PDU 中的准确位置。否则，如果整个 AMD PDU 都丢失了，只会包括 NACK_SN 域。

4）SOstart（Segmentation Offset Start）：这一 15bit 的域指示了 SN = NACK_SN 的 AMD PDU 丢失部分的开始位置。

5）SOend（Segmentation Offset End）：这一15bit 的域指示了 SN = NACK_SN 的 AMD PDU 丢失部分的结束位置。在 15bit 全为 1 时表示从 SOstart 到 AMD PDU 的最后一个字节之间的部分全部丢失。

图 5.15 显示了状态 PDU 分段的格式。

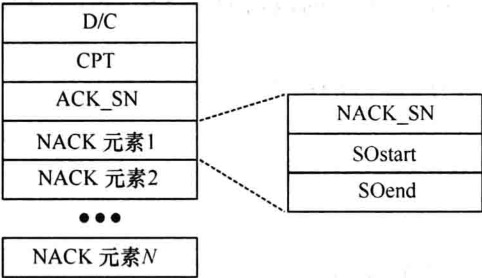


图 5.15 STATUS PDU 格式

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 36.322, "Radio Link Control (RLC) Protocol Specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第6章　媒体接入控制层

3GPP 在本章参考文献［1］中给出了媒体接入控制（MAC）层的具体说明。正如字面意义所说，MAC 层控制着高层对通信媒体，即物理层（Physical，PHY）的接入。MAC 层通过传输信道与下层 PHY 层相连接，通过逻辑信道与上层无线链路控制（RLC）层相连接。因此，MAC 层决定了在给定时间内，哪个逻辑信道可以被接入传输信道，对它们之间数据执行复用与解复用的功能。

MAC 层基本功能有提供无线资源配置的服务和向高层进行数据传输的服务。作为无线资源配置服务的一部分，MAC 层进行着逻辑信道的优先级处理，功率余量的报告，上行链路（Uplink，UL）和下行链路（Downlink，DL）分配授权处理等过程。作为数据传输服务的一部分，MAC 层进行着调度请求、缓存区状态报告、随机接入混合自动重传请求（HARQ）。

另外，MAC 层还进行着半持续调度（Semi-Persistent Scheduling，SPS）和非连续接收（Discontinuous Reception，DRX）的处理工作。SPS 过程是为了增加语音业务的小区容量；非连续接收是为了减少 UE 中的功率损耗。

6.1　MAC 层的功能和服务

由于 MAC 层管理着无线资源控制，与 RLC 层和物理层（Physical，PHY）的连接，以及数据的传输，因此 MAC 具有以下功能。

（1）连接高层与低层

1）逻辑信道与传输信道之间的映射；

2）将来自一个或多个逻辑信道的 MAC 业务数据单元（SDU）复用到传输块（Transport Blocks，TB），通过传输信道发给 PHY 层；

3）将一个或多个逻辑信道的 MAC SDU 解复用，这些 SDU 来自于 PHY 层通过传输信道发送的 TB。

（2）传输数据

1）调度信息上报；

2）通过 HARQ 进行错误纠正。

（3）无线资源控制

1）通过动态调度在用户设备（UE）间进行优先级操作；

2）同一个 UE 的逻辑信道间进行优先级的操作；

3）传输格式选择。

在以上列举的功能中，一些功能只在 eNB 中使用，一些功能只在 UE 侧使用。

表 6.1 给出了哪些功能由哪些实体来使用。上行方向是从 UE 到 eNB，下行方向是从 eNB 到 UE。

表 6.1　UE 和 eNB 在 MAC 中的功能

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

MAC 功能	UE	eNB
逻辑信道与传输信道的映射	×	×
上行复用	×	
下行复用		×
下行解复用	×	
上行解复用		×
HARQ 错误纠正	×	×
传输格式选择		×
UE 优先级管理		×
一个 UE 逻辑信道优先级管理		×
逻辑信道优先	×	
调度信息上报	×	

6.2 MAC 层架构

如图 6.1 所示，MAC 层是由 HARQ 实体、复用/解复用实体、逻辑信道优先级实体和控制实体所组成。

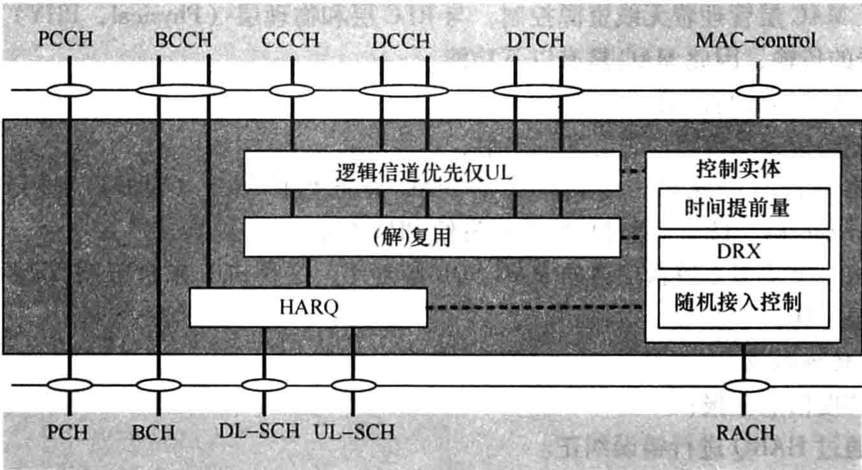


图 6.1　MAC 层架构

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

复用/解复用实体掌控着 MAC 分组数据单元（PDU）的封装与解封装，并且将来

自多个逻辑信道的数据复用到传输信道，将来自传输信道的多个逻辑信道的数据解复用。当为新一次的发送配置好无线资源以后，逻辑信道优先级实体通知复用/解复用实体，基于 MAC SDU 生成 MAC PDU。当接收到 MAC PDU 以后，复用/解复用实体把收到的 MAC PDU 重组为 MAC SDU，并且把 MAC SDU 发送给相应的 RLC 实体。

HARQ 实体进行 HARQ 操作的发送和接收。HARQ 发送操作包括传输块的发送，在必要的时候还会有传输块的重传，在配置好的情况下，还有 HARQ 肯定应答（ACK）和否定应答（NACK）信号的接收和处理。HARQ 接收操作包括传输块的接收以及对其进行组合和解码，在有关配置下，还要生成 HARQ ACK/NACK 信号。

逻辑信道优先级实体规定了每当一次新的传输的无线资源可用时，在每个 MAC PDU 中应该包含多少来自于配置好的逻辑信道的数据。正如上面所说的，这项决定被传送至复用和解复用实体。

控制实体负责包括 DRX、资源请求、上行链路的定时校准、功率余量报告等在内的多项功能。在 eNB 和 UE 之间的端到端的通信，被称为 MAC 控制单元（MAC Control Elements，MAC CE）的控制信息通过 MAC PDU 进行交换。当 UE 没有专用的上行传输资源时，随机接入（RA）过程被用来请求上行无线资源发送上行数据，或者对网络的请求做出响应。

6.3　MAC 信道及信道映射

MAC 层分别通过传输信道和 PHY 层以及通过逻辑信道和 RLC 层来交换数据。用来传输数据的传输信道是根据数据如何通过无线接口发送来选择的。用来传输数据的逻辑信道是根据数据特点来选择的。

传输信道被初步分为下行信道和上行信道，逻辑信道根据它所传输的是用户业务数据还是诸如 RRC 消息的控制信息来分类。

6.3.1　传输信道

下行传输信道有 3 种类型。

1）广播信道（Broadcast Channel，BCH）：这类传输信道用来传输一些系统信息，这些系统信息对于 UE 能够在网络中正常运转来说非常必要。这种传输信道的传输格式是固定的，并且通过信道传输的信息数量被限制。

2）下行共享信道（Downlink Shared Channel，DL-SCH）：这类传输信道被用来传输用户数据或者下行链路中的控制信息，为此信道分配的无线资源可以动态改变。除了用户数据和控制信息，这类信道还传输那些不经过 BCH 传输的剩下的系统信息。

3）寻呼信道（Paging Channel，PCH）：此类信道是用来向 UE 传输寻呼信息来通知 UE 即将到来的呼叫。此外，它还被用来通知 UE 系统信息和公共警报系统消息的更新。

上行传输信道有两种类型。

1）上行共享信道（Uplink Shared Channel，UL-SCH）：这类传输信道被用来传输用

户数据或者上行链路中的控制信息。为此信道分配的无线资源可以动态改变。

2）随机接入信道（Random Access Channel，RACH）：传输可用数据时，当 UE 没有分配好的上行传输资源，或者演进型 NodeB（eNodeB，eNB）命令 UE 执行随机接入过程时，这类传输信道用来发送随机接入前导。

6.3.2　逻辑信道

控制逻辑信道有 4 种类型。

1）广播控制信道（Broadcast Control Channel，BCCH）：这个逻辑信道在下行链路中被用来广播系统信息和 PWS 消息，并且与 TM RLC 实体相连接。

2）寻呼控制信道（Paging Control Channel，PCCH）：这个逻辑信道在下行链路中被用来通知 UE 即将到来的呼叫或系统信息的改变，并且与 TM RLC 实体相连接。

3）公共控制信道（Common Control Channel，CCCH）：在比 RRC 层更低的层中，当信息的发送端和接收端无法被唯一标识时，这个逻辑信道被用来在上行或者下行链路中传输控制信息，并且与 TM RLC 实体相连接。

4）专用控制信道（Dedicated Control Channel，DCCH）：对于与 eNB 在 RRC 连接的特定 UE，这个逻辑信道用来在上行或下行链路中传输专用控制信息。这个逻辑信道并与确认模式（AM）RLC 实体相连接。

业务逻辑信道只有一种类型。

专用业务信道（Dedicated Traffic Channel，DTCH）：这个逻辑信道用来在上行或者下行链路中传输专用的用户数据，并且与 UM RLC 实体或者 AM RLC 实体相连接。

6.3.3　信道映射

MAC 层管理着传输信道和逻辑信道的连接。在逻辑信道和传输信道所有可能的组合中，只有一些被选中的组合是我们允许的。允许的上行和下行的传输信道和逻辑信道之间的映射分别如图 6.2 和图 6.3 所示。

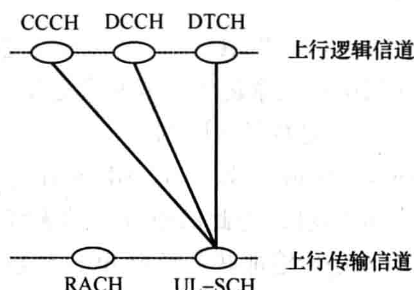


图 6.2　上行信道间的映射

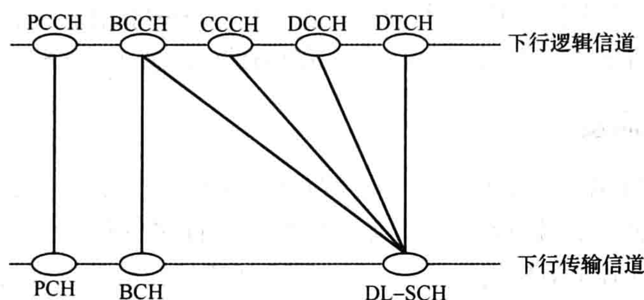


图 6.3　下行信通间的映射

6.4　调度

为了在多个 UE 间有效利用有限的无线资源，无线资源应该被严格管理，只有在必要时才分配给 UE 无线资源，因此，在使用正交频分多址接入（Orthogonal Frequency Division Multiple Access，OFDMA）的 LTE 中，无线资源在多个 UE 间动态共享。eNB 决定并调整多个 UE 以及无线承载间的无线资源分配。为了实现最佳分配，eNB 应当知道关于在 UE 中形成的数据和被传输到 UE 的数据的准确信息。

无论数据在 eNB 和 UE 间何时传输，以上提到的动态调度思想要求发送资源分配信息。对于周期形成较小数据包的 IP 话音业务（VoIP），动态调度产生了大量的信令开销。为了减少这种开销，LTE 中使用了令无线资源可以被半静态分配到 UE 的半持续调度（SPS），以此来增加小区中话音业务的容量。

最后，为了满足不同用户的不同需求，eNB 还考虑了每个配置好的无线承载器的服务质量（QoS）要求，并以此来决定无线资源的分配。

6.4.1　动态调度

在这种调度模式中，eNB 分配给 UE 上行或下行无线资源，这些资源只有一个或几个子帧有效。这种模式适用于产生突发性数据的业务。例如，对网络浏览业务来说，当用户单击一个网络链接时，就产生了数据流，然而用户单击的时间是间歇的，不可预测的。因此，对这种业务来说，当有数据流出现时，eNB 就动态以及自适应地分配无线资源。当 eNB 决定分配给 UE 下行无线资源时，eNB 要考虑此时的特性和在 eNB 缓存中下行数据的数量。对于上行无线资源的分配，eNB 要考虑来自 UE 的缓存状态报告（Buffer Status Report，BSR）中的信息。

在动态调度中，eNB 通过使用被称为下行分配消息的资源分配信息来为 UE 分配下行无线资源；通过使用被称为上行准许消息的资源分配信息来为 UE 分配上行无线资源。下行分配消息和上行准许消息通过物理下行控制信道（PDCCH）分别发送，通过小区无线网络临

时标识（C-RNTI）识别目标 UE。下行分配消息指出了 HARQ 信息和关于无线资源分配的信息。另一方面，上行准许消息只是指出了关于无线资源的信息（见 6.8 节）。

6.4.2 半持续调度

就像上面提到的那样，VoIP 业务会在较短间隔内周期性地产生许多分组较小的数据包，如果 VoIP 业务使用动态调度，那么需要用到许多下行分配消息和上行准许消息，这会导致 PDCCH 上有较高的负载。由于 PDCCH 的容量是一定的，我们需要减少下行分配信息和上行准许信息的数量来增加在一个小区内同时支持的 VoIP 呼叫的数量。因此，SPS 被用来以最小负荷对 PDCCH 进行长时间分配无线资源。一般来讲，SPS 用于周期形成的相似大小的数据包的可预测业务。

例如，当 UE 进行语音呼叫时，会周期形成语音包，并且这些包具有相同或者相似的大小。这意味着相似的无线资源很可能周期分配给 UE 来传输形成的数据。为了允许 UE 在最少量信令通过 PDCCH 的情况下使用无线资源，UE 首先需要知道无线资源分配的周期和实际传输属性诸如分配的无线资源的编码信息或者频率信息。需要使用 RRC 层的信令和 PHY 层的信令才可以传输这些信息到 UE。通过使用 RRC 消息的 RRC 层的信令，UE 就会了解到无线资源周期分配的间隔。通过 PDCCH 中的 PHY 层的信令，频率信息和传输属性信息例如调制和编码方案会被发送给 UE。另外，应用时间间隔的时间基准也应该通知 UE。UE 通过 PDCCH 的 PHY 层信令得到的实际 UE 接收时间作为参考时间。

当 VoIP 业务正在进行时，VoIP 业务的语音数据包并不是唯一可用的数据包。例如，为了实现连接管理的目的，RRC 层可能会形成一些 RRC 消息，这些 RRC 消息长度很长，时间上无法预测。为了传输这些无法预测的数据包，无论 SPS 如何，动态调度可以在任何时间使用。在这种情况下，由于 SPS 和动态调度的资源分配信息均通过 PDCCH 传输，有必要区分 SPS 的资源分配信息和动态调度的资源分配信息。为了达到这个目的，当 PDCCH 中传输 SPS 的资源分配信息时，除了动态调度使用的 C-RNTI，还使用了半持续调度 C-RNTI（SPS-C-RNTI）来标识资源分配信息。

当 SPS 的无线资源配置好以后，并在子帧中收到带有 C-RNTI 的资源分配信息，UE 使用子帧中动态调度指定的无线资源而不是 SPS 配置的无线资源。这项操作被称为覆盖 SPS 资源，此时 SPS 的无线资源暂时由动态调度分配的无线资源所代替。

图 6.4 描述了动态调度覆盖 SPS 的例子。在这个例子中，SPS 的资源分配间隔是 20ms。在 0ms 时，SPS 的配置完成，资源 A 分配给 SPS，按照这个配置，UE 将会在 20ms 的间隔中使用资源 A。然而，如果 eNB 想在 40ms 时使用除了资源 A 以外的无线资源，eNB 会使用动态调度发送 DL 指令。因此，在 40ms 时，当 UE 收到由 C-RNTI 标识的 DL 指令时，UE 就会在子帧中使用由 DL 指令指定的资源 B。在这种情况下，UE 在 40ms 时不会使用资源 A，在 60ms 时，由于没有了 DL 指令，UE 会继续使用由 SPS 配置的资源 A。

实质上，在 PDCCH 上传输的由 SPS-C-RNTI 标识的资源分配消息指明了以下几点：

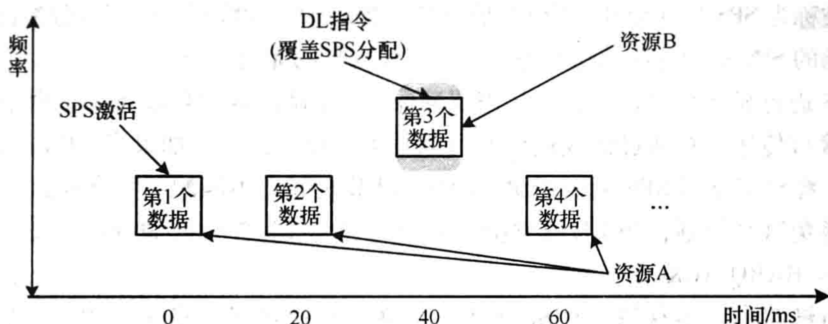


图 6.4　SPS 覆盖示例

1）SPS 无线资源的激活；

2）SPS 无线资源的再激活；

3）通常通过 SPS 无线资源传输的传输块的 HARQ 重传；

4）SPS 无线资源的释放。

在以上 4 种情形中，为了使 UE 能够区分 SPS 无线资源的激活和 SPS 的 HARQ 重传信息，需要检测通过资源分配信息传送的新数据指示符（New Data Indicator，NDI）域。

为了 SPS 无线资源的激活，NDI 域被置为 0。当 UE 收到由 SPS-C-RNTI 标识的 NDI 域置为 0 的资源分配信息时，UE 会将收到的资源分配信息通过 PDCCH 存储起来。当接收或者重传 MAC PDU 时，UE 就会根据存储信息所指定的周期使用无线资源。

另一方面，如果 NDI 域置为 1，SPS 的资源分配是为了 HARQ 重传。当 UE 收到由 SPS-C-RNTI 标识的 NDI 域置为 1 的资源分配信息，它不会使用所存储的无线资源，而是使用收到的无线资源接收或重传 MAC PDU。

当有关服务的特征变化时，可能会进行 SPS 无线资源的再激活。例如，当 SPS 运行时，VoIP 业务中的语音码率增加了，如果 SPS 配置的无线资源保持不变，新生成的语音数据包和所配置的无线资源将会不匹配。为了解决这种问题，我们需要修改 SPS 的无线资源配置使得更大的语音数据包与分配的无线资源相匹配。SPS 无线资源的再激活与 SPS 无线资源激活的运行方式相同，即当 UE 收到通过 PDCCH 传输的由 SPS-C-RNTI 标识的 NDI 域置为 0 的资源分配信息时，UE 就会用新收到的资源分配信息替换所存储的资源分配信息。

为了提高无线资源的利用率，当分配的半持续无线资源不再使用时，SPS 的无线资源就会被释放。例如，在 VoIP 业务中，在对话过程中通常情况下人们不会一直讲话，人们不讲话的这段时间被称作静默期，静默期相对较长。如果 SPS 无线资源的配置在从激活期转变为静默期以后仍然保持不变，则由于没有数据要发送，SPS 的无线资源就会浪费。也就是说，当使用 SPS 不再有这么多的效益时，最好释放配置的 SPS 无线资源。为了达到这个目的，由 SPS-C-RNTI 标识的资源分配信息可以包含一个指示位来释放 SPS 的无线

资源，这被称为 SPS 显式释放。当 UE 收到指示释放 SPS 无线资源的资源分配信息，它就会丢弃存储的 SPS 资源分配信息并停止使用当前配置的无线资源。

当 SPS 进行显式释放以后，eNB 需要确保 UE 正确接收到释放指令。由于释放指令通过无线接口传送，在通过无线接口时可能会丢失释放指令。如果当 UE 没有收到释放指令，eNB 释放了下行 SPS 无线资源，eNB 和 UE 之间的不匹配可能会导致服务质量下降。为了避免这种问题，当 UE 收到指示释放下行无线资源的资源分配信息时，它需要向 eNB 发送 HARQ ACK。

在上行链路中，还有另一种机制可以解决 SPS 显式释放指令丢失。实际上，eNB 无法立即知道释放上行 SPS 无线资源，因此，LTE 中也会使用 SPS 隐式释放机制来释放上行无线资源。在隐式释放机制中，当一定数量的 MAC PDU 被连续发送，但却不包含任何使用 SPS 无线资源的 MAC PDU 时，UE 就会在不通知 eNB 的情况下释放上行无线资源。同样，在连续收到一定数量的 MAC PDU，却不包含任何 MAC PDU 以后，eNB 可能就会明白没有必要再为 SPS 分配无线资源了，最终也会释放 SPS 上行无线资源。

6.5 调度信息的传输

6.5.1 缓存状态报告

在 LTE 中，为不同 UE 分配的无线资源在时域和频域上是正交的。因此，如果 eNB 分配给某一特定 UE 上行无线资源，但该 UE 却没有使用，那么由于其他的 UE 无法使用会造成分配的无线资源白白浪费。因此，为了最大限度利用无线资源，eNB 会对其进行全面控制。当 UE 想在上行链路中传输一些数据时，它需要向 eNB 请求无线资源的分配，除非它发送的是随机接入前导。

为了帮助 eNB 对分配给 UE 的上行无线资源进行优化，UE 会向 eNB 发送缓存状态报告（BSR）。BSR 指明了在 UE 的内存中缓存了多少数据。BSR 只在上行链路中有意义，因为在下行链路中由于 eNB 调度程序的配置和下行缓存，eNB 知道缓存状态。因此，在上行无线资源分配中，UE 需要向 eNB 发送 BSR 来指出 UE 中需要发送的数据量。

BSR 定义了两种格式：长 BSR 和短 BSR。由名字我们可以知道，长 BSR 比短 BSR 要长，长 BSR 被用来为四个逻辑信道组（Logical Channel Groups，LCG）传输缓存状态信息。短 BSR 只用来为一个 LCG 传输缓存状态信息。使用哪种 BSR 取决于触发 BSR 的条件、有多少 LCG 要发送数据以及在 MAC PDU 中有多少空间可以使用。

以上说明了数据量是由每个 LCG 而不是每个逻辑信道所指明的。实际上，如果 UE 向每个逻辑信道都发送 BSR，eNB 就会有关于 UE 缓存状态的更准确和更详细的信息。然后，很明显 BSR 本身也是信令开销，我们会使 BSR 尽可能地小。另外，为 UE 配置了很多的逻辑信道，它们中的一些可能会有相似的 QoS 要求或者相似的特性。如果这样的话，UE 报告每个逻辑信道的缓存状态，并不会为 eNB 的调度带来很大效益。因

此，LTE 通过按照相似的属性把逻辑信道至多分为4组 LCG，为每个 LCG 作出缓存状态报告，在报告效率和报告准确度之间找到了平衡。

BSR 可被以下任何一种条件所触发：

1）每当高优先级的逻辑信道数据到达时，这些逻辑信道的优先级高于那些缓存中存有数据的逻辑信道。此时，触发的 BSR 被称为常规 BSR。在考虑到 QoS 的要求时，优先处理高优先级的数据是明智的。例如，当一条紧急的 RRC 消息到达了 UE 的缓存区，此时 UE 缓存中充满了其他诸如网络浏览业务低优先级的数据，无论先前发送的 BSR 如何，UE 应当立即向 eNB 报告高优先级数据的到达；否则，eNB 可能不会分配给 UE 无线资源导致 UE 和 eNB 之间的联系中断。

2）当所有的缓存都是空的，此时 UE 缓存中到达可用数据，这也被称为常规 BSR。如果 UE 没有通知 eNB 新数据的到达，eNB 将不会向 UE 分配无线资源。

3）当 retxBSR-Timer 超时时，在 UE 缓存中仍有数据。这也被称作常规 BSR。retxBSR-Timer 是用来避免当 UE 发送了 BSR 而 eNB 没收到 BSR 可能导致的阻塞状态。由于触发的 BSR 作为 MAC 控制单元包含在 MAC PDU 中，并且 MAC PDU 是使用 HARQ 机制来发送的，那么如果包含常规 BSR 的 MAC PDU 在通过无线接口时丢失，由 eNB 发送的 HARQ NACK 被 UE 错误译为 HARQ ACK（即 HARQ NACK-to-ACK 错误），此时就会发生死锁状态。为了避免这种状态而使用了 retxBSR-Timer。当包含 BSR 的 MAC PDU 发送时计时器开始计时，在 UE 收到上行准许进行新的发送命令时重新计时。当 retxBSR-Timer 超时时，这意味着 UE 有一段时间没有收到上行准许。在这种情况下，如果没有触发新的常规 BSR，UE 无法发送更多的 BSR，UE 也没有办法通知 eNB 它的缓存状态。因此，为了避免这种情况，当 retxBSR-Timer 超时时，在 UE 缓存中确实有数据，UE 就会触发 BSR。

4）当 periodicBSR-Timer 超时时会触发 BSR。这种 BSR 被称作周期性 BSR。它被用来周期性向 eNB 传输更新的缓存状态信息。例如，我们假设只属于一个逻辑信道的数据持续到达 UE 的缓存区，UE 正在发送数据。在这种情况下，当逻辑信道数据可用时就触发了第一个 BSR，然而，如果其他逻辑信道的数据并没有到达 UE 缓存，以上提到的 BSR 都不会被触发。随着时间的推移，该逻辑信道的数据不断到达，一些数据可能会被丢弃。因此，为了避免逻辑信道中数据的丢弃，会利用 periodicBSR-Timer 周期性发送 BSR。

5）当 MAC PDU 中剩余的空间能够容纳一个 BSR 时，就会触发 BSR。这种被称作填充 BSR。当 UE 收到上行准许时，UE 知道它要构成的 MAC PDU 的大小。有时，UE 中的 MAC 层无法利用上层传来的数据和 MAC CE 来填满 MAC PDU。例如，当 RLC 层构建出一个额外的 MAC SDU，RLC 报头最小是 1B，RLC 最小负载是 1B（见5.2节）。另外，为了包含进去这个额外的 MAC SDU，至少需要 1B 的 MAC 子报头。因此，当 MAC PDU 中的可用空间少于 3B 时，用户数据的传输无法使用此空间。从效率的角度来考虑，最好能够包含一些有意义的数据例如 BSR 而不是填充位。因此，当填充空间足够容纳任何一种格式的 BSR 时，MAC PDU 中就会包含 BSR。

在新传输的上行无线资源可用时触发常规BSR，此时BSR就被包含在新构建的MAC PDU中被传送至eNB。相反地，如果UE触发了常规BSR而新一次传输的无线资源没有分配给UE，此时如果传输调度请求（Scheduling Request，SR）的物理上行控制信道（PUCCH）配置给UE就会触发SR过程。然而，如果UE既没有在PUCCH上配置SR资源，又没有分配上行准许，UE就会在触发BSR时启动随机接入（Random Access，RA）过程。此时RA过程或者通过PUCCH传输的SR会使上行无线资源分配给UE，并且包含BSR的MAC PDU将会被发送至eNB。基于此BSR，eNB会进一步为UE分配上行无线资源。

然而，当除了常规BSR以外的BSR被触发后，通过PUCCH发送SR或者RA过程将不会被触发。当UE有用户数据要发送而常规BSR被触发时，即使UE没有用户数据发送时，其他BSR也可以被触发。由于上行无线资源将会根据PUCCH上的SR或者RA过程分配，使得只有常规BSR可以触发过程以此避免不必要的资源分配。

还有一种特殊BSR类型是截短BSR。截短BSR和短BSR有相同的格式，只是LCID域不同。当填充BSR触发并且MAC PDU中的空间又不够包含长BSR时就会使用截短BSR。从UE的角度来看，短BSR和截短BSR之间没有太大区别。然而，从eNB的角度来看，eNB需要确认BSR的意义，尤其是信息提到一个LCG或者几个。如果eNB从UE处收到短BSR，这意味着只有短BSR中包含的LCG有数据要发送，其他的LCG没有。如果触发了填充BSR，UE发送了短BSR，eNB将会认为不包含在BSR中的其他的LCG没有数据要发送。因此，当UE无法在MAC PDU中包含一个长BSR以及不止一个LCG有数据要发送时，UE就会使用截短BSR而不是短BSR。当eNB收到截短BSR，它就会隐式地知道不包含在截短BSR中的其他LCG也有数据要发送。

6.5.2 调度请求

调度请求（SR）过程是UE用来请求为新的上行传输分配无线资源的。当常规BSR触发但是UE却没有发送BSR的上行无线资源，此时SR过程就会开始运行。在SR过程中，UE或通过PUCCH发送SR或初始化RA过程，这取决于UE是否为SR配置了PUCCH资源，RA过程只有在UE没有被配置PUCCH资源时才会进行初始化。

处在SR过程中并不利于运行RA过程，这是因为UE需要很长时间才会获得上行资源。由于RA过程会发生冲突，获取上行资源的时间没必要那么久。因此，从资源分配延时的角度考虑，为SR分配PUCCH资源较好。然而，eNB不可能总是为UE的SR配置好PUCCH资源，因为一个小区内PUCCH资源是有限的，因此，在资源分配延时和PUCCH负载之间有相应的权衡。

为SR分配的PUCCH资源是由eNB周期分配的。PUCCH资源分配给SR的周期被称作SR周期。SR周期影响UE获取上行资源的延时，即较短周期导致较快的资源分配。然而，较短的周期会占用更多的PUCCH资源，因为即使SR不发送，eNB也要为SR的发送预留很大一部分资源。因此，eNB需要在SR周期和PUCCH负载之间找到好

的平衡点。

当 UE 通过 PUCCH 传输 SR 时，UE 会跟踪 SR 的传输数量。如果到达 SR 传输数量的最大值而仍没有上行无线资源分配给 UE，此时会释放 SR 的 PUCCH 资源，并且初始化 RA 过程。这次通过 PUCCH 的 SR 的不成功发送可能是由错误的配置引起的，例如不准确的发送功率。eNB 会通过探测 RA 过程来识别错误的 SR 配置，这个 RA 过程是由为 SR 配置 PUCCH 资源的 UE 初始化的。

在 R9 版本（Release 9，Rel-9）中，sr-ProhibitTimer 计时器被用来避免在较短时间内另一 SR 的发送。由于在 SR 发送和上行资源分配之间有延时（大于 4ms），在此期间发送另一个 SR 是无用的。因此，在 sr-ProhibitTimer 运行过程中 UE 不允许发送 SR。sr-ProhibitTimer 的值被定义为 SR 周期的倍数。

6.5.3　功率余量报告

不像位置固定并且总是插在电源插座中的 eNB，UE 经常移动，因此功率有限。在给定最大功率值的条件下，如果 UE 被分配了比它所能支持的更多的资源，eNB 中的解码错误率就会增加。因此，eNB 具有 UE 准确功率状态及分配适当的无线资源，这一点非常重要。PHR（Power Headroom Report，功率余量报告）为 eNB 提供名义上的发送功率的最大值和上行传输估计的需求功率之间的差值信息。

RRC 信令用来传输 periodicPHR-Timer、prohibitPHR-Timer、dl-PathlossChange 的配置参数。periodicPHR-Timer 用来让 UE 周期性发送 PHR，prohibitPHR-Timer 用来避免 PHR 过于频繁的发送。当路径损耗急剧波动，路径损耗的短期变化由 prohibitPHR-Timer 过滤掉。dl-PathlossChange 参数用来作为触发 PHR 的条件。当测量到的下行路径损耗比此参数大，UE 就会触发 PHR。

6.6　逻辑信道优先级

有限的无线资源需要仔细地在 UE 和无线承载中分配，所有的下行数据会在通过无线接口发送至 UE 之前通过 eNB，因此 eNB 是关键节点。因此 eNB 在关于应该首先发送哪些下行数据上可以做出一致决定。然而，在上行链路中，每个 UE 都会根据自己缓存中的数据和所分配的无线资源做出各自的决定。为了确保在使用分配的无线资源时每个 UE 做出最好和最一致的决定，引进了逻辑信道优先级（Logical Channel Prioritization，LCP）过程。LCP 过程是用来进行 MAC PDU 的构建的，它通过决定来自每个逻辑信道的数据量和包含在 MAC PDU 中的 MAC 控制单元来实现此功能。通过使用 LCP 过程，UE 可以用最佳和可预测的方式来满足每个无线承载的 QoS。

在用多个逻辑信道的数据构建 MAC PDU 时，最简单和最直观的方法是基于绝对优先权的思想，这种思想使得 MAC PDU 空间按照逻辑信道优先权递减的顺序被分配给各逻辑信道。也就是说，来自最高优先权的逻辑信道的数据在 MAC PDU 中最先被安置。接着是剩下的最高优先权的逻辑信道的数据，一直这样下去直至 MAC PDU 空间用完。

尽管基于绝对优先权的思想在 UE 中实施是很简单的，但是它有时会导致低优先权的逻辑信道的数据缺乏。数据缺乏是指由于来自高优先权逻辑信道的数据占据了所有的 MAC PDU 的空间，这导致低优先权逻辑信道的数据无法发送。

在 LTE 中，每个逻辑信道都定义了优先比特速率（Prioritized Bit Rate，PBR）来确保数据按照优先级来发送又不会导致低优先级的数据缺乏。PBR 是逻辑信道保证的最小数据速率。即使逻辑信道有较低的优先级，至少 MAC PDU 中会有少量空间分配给它来保证 PBR，因此，通过使用 PBR 可以避免数据缺乏问题。

用 PBR 构建 MAC PDU 包括两个步骤。第一步，每个逻辑信道按照优先级的高低递减的顺序来服务，在 MAC PDU 中包含的每个逻辑信道的数据量是由逻辑信道的 PBR 的值所限定的。在所有的逻辑信道都达到了各自的 PBR 值后，如果 MAC PDU 中还有空间，就会进行第二步。在第二步中，每个逻辑信道仍然按照逻辑信道优先级递减的顺序来服务。和第一步的不同在于只有在高优先级的逻辑信道没有数据要发送时，才会分配 MAC PDU 的空间给低优先级的逻辑信道。

MAC PDU 可能不仅仅包括来自每个配置的逻辑信道的 MAC SDU，还有 MAC CE。除了填充 BSR，MAC CE 比来自逻辑信道的 MAC SDU 有更高的优先级，这是因为它控制着 MAC 层的运行。因此，当 MAC PDU 构建以后，如果存在 MAC CE，则 MAC CE 首先被包含在 MAC PDU 中，剩下的空间则用来包含逻辑信道中 MAC SDU。如果还有空间剩余，并且剩余空间足够容纳 BSR，就会触发填充 BSR 并被包含在 MAC PDU 中。

表 6.2 显示了当形成 MAC PDU 时考虑的优先级顺序。在几种类型的 MAC CE 和逻辑信道的数据中，C-RNTI MAC CE 和来自 UL-CCCH 的数据具有最高的优先级。C-RNTI MAC CE 和来自 UL-CCCH 的数据从不包含在同一个 MAC PDU 中。与来自其他逻辑信道的数据不同，UL-CCCH 的数据比其他的 MAC CE 具有更高的优先级。由于 UL-CCCH 使用 SRB0 传输 RRC 消息，因此 UC-CCCH 数据必须比其他的数据具有更高的优先级。一般来说，来自 UL-CCCH 的数据在 RA 过程中传输，来自 UL-CCCH 的 MAC PDU 的大小也是有限的。C-RNTI MAC CE 由一个 UE 在 RA 过程中使用，并且 eNB 知道该 UE 的存在。由于 RA 过程会发生冲突，eNB 需要有一种方式来识别每个 UE，这是非常重要的。因此，在 RA 过程中 UE 需要尽早包含 C-RNTI 来作为其识别证明。

表 6.2 MAC CE 和逻辑信道数据优先级

优 先 级	
最高	携带 C-RNTI 或 UL-CCCH 的 MACCE
	携带 BSR 的 MAC CE，但不包括携带 padding BSR
	携带 PHR 的 MAC CE
	来自于逻辑信道的数据，但不包括 UL-CCCH
最低	携带 padding BSR 的 MAC CE

图 6.5 描述了如何进行 LTE MAC 复用的例子，在这个例子中，我们做出以下假设。

1）有 3 个信道：信道 1 具有最高的优先级，信道 2 具有中等优先级，信道 3 具有

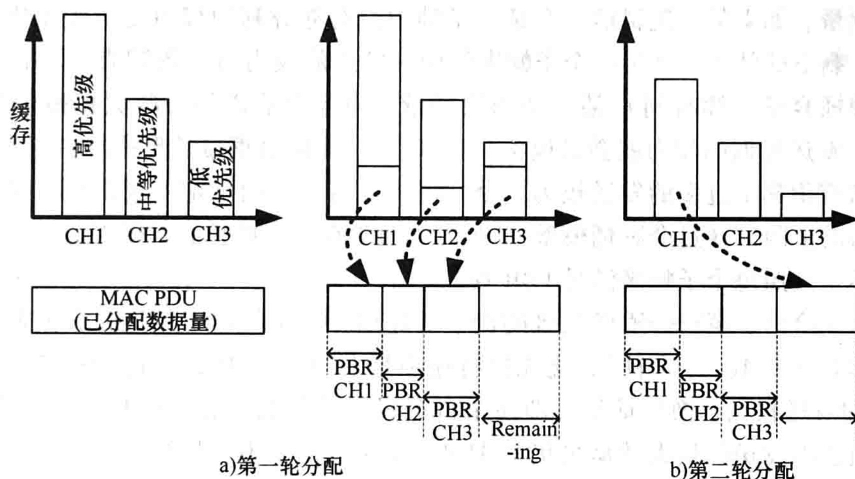


图 6.5　逻辑信道优先级示例

最低的优先级。

2）信道 1、信道 2、信道 3 已分配 PBR 值。

在第一步中，每个信道都根据优先级被分配给等于其 PBR 值的数据量。在第一步中，没有配置 PBR 值的信道不会被服务。另外，如果信道可用的数据量比配置的 PBR 值要少，那么信道就会被分配缓存中可用的数据量。如图 6.5a 所示，在 MAC PDU 中每个信道都被分配了相应的空间直到其配置的 PBR 值。

在第二步中，只有下列 3 个条件满足时才会服务该逻辑信道。

1）在优先级比相关的逻辑信道要高的逻辑信道被服务以后；

2）MAC PDU 中仍有剩余空间；

3）在信道缓存中有可用数据。

因此，如图 6.5b 所示，信道 1 首先获得服务。由于信道 1 缓存中剩余的数据比 MAC PDU 中剩余的空间要大，MAC PDU 中所有剩余的空间被分配给信道 1。由于没有剩余的空间，在第二步中信道 2 和信道 3 不会获得服务。

以上所描述的是一般的规则，每个新的 MAC PDU 的组成并不强制执行以上操作。每个 MAC SDU 对应一个 RLC PDU 和一个至少包括 1B 的 RLC PDU 报头的 RLC PDU。对每个 MAC SDU，存在一个对应的至少 1B MAC 子报头。因此，无论何时，只要 MAC PDU 中包含来自一个逻辑信道的少量数据，它至少会有 2B 的报头开销。如果每个 MAC PDU 都使用以上的复用规则，由 MAC 子报头和在一个 MAC PDU 中每个逻辑信道的 RLC PDU 报头造成的整体开销将是巨大的。因此，相比于每个子帧都使用以上的 PBR 要求，最好是在一个长时间周期满足 PBR 要求。为了减少开销和避免太多的分段，我们应用了 PBR 令牌桶模型。

在令牌桶模型中，每个逻辑信道都配置了两个参数：令牌桶容量持续时间和优先比特速率。在模型中，我们假设每个逻辑信道在每个子帧中都有权利发送优先比特速

率的数据量。如果某一逻辑信道在某一子帧中没有充分利用权力发送优先比特速率的数据量，剩下的就可以在另一个子帧中使用。发送的权力可以累积直至（优先比特速率×令牌桶容量持续时间）某一个的数据量。当逻辑信道的一些数据被包含进 MAC PDU 中，发送数据的权力就会以包含在 MAC PDU 中的数据量的形式减少。为了避免某一逻辑信道积累了过多的发送权力，令牌桶容量持续时间设定了逻辑信道可以积累的发送权力的上限。通过令牌桶模型，UE 可以通常在一个更长的时间周期内满足 PBR 规则，而不是按照每个子帧来满足 PBR 规则。

图 6.6 给出了逻辑信道优先级的例子。这里，对于给出的信道，我们假设令牌桶容量持续时间是 4ms（子帧），优先比特速率是 1KB/ms。因此，逻辑信道不能积累多余 4KB 的发送权利。换句话说，即使来自逻辑信道的数据已经很长时间没有发送了，逻辑信道能够发送的最大数据量仍是 4KB。在这个例子中，从第一个子帧到第五个子帧逻辑信道没有发送任何数据，由于令牌桶容量的限制，逻辑信道在第五个子帧积累的最大令牌数是 4KB。在第六个子帧，逻辑信道发送了 3KB 的数据，由于 1KB 大小的令牌累积到了第七个子帧，因此逻辑信道在第七个子帧积累的令牌数是 2KB。因此，由于累积的令牌数，即使逻辑信道没有发送任何数据，也可以在一段时间以后进行大量数据传输，同时还不超过最大的令牌数。

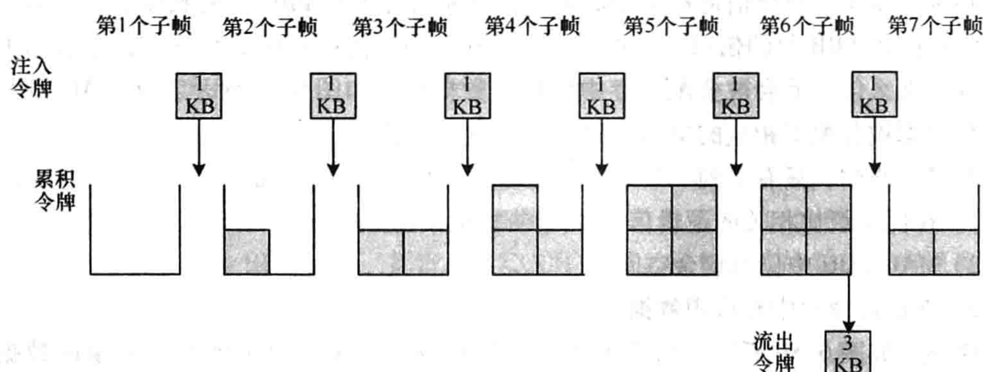


图 6.6 PBR 令牌桶模型

6.7 非连续接收

电池节能是移动通信中最重要的问题。为了减少 UE 电池的消耗，我们使用了一种机制来减少 UE 监测 PDCCH 的时间，这种机制就是所谓的非连续接收（DRX）功能。

DRX 机制需要满足两个相互矛盾的要求。一方面，它应该减少从一个节点到另一个节点之间的数据传输的延时；另一方面，为了减少电池消耗，应当减少 UE 监听下行信道的时间周期。因此，DRX 的参数在电池节能和减少延时之间采取折中。

在 LTE 中，最多有两个 DRX 周期——即 DRX 长周期和 DRX 短周期——可以被 UE 在 RRC_CONNECTED 中使用。注意 DRX 短周期的使用是由 eNB 可选配置的。

DRX 长周期有利于延长 UE 的电池寿命。例如，在用户使用 Web 浏览的业务时，当用户正在阅读已下载的 Web 页面时，如果 UE 持续监听下行信道会使 UE 电池浪费。此时，通过使用 DRX 长周期，UE 可以减少用来监听下行信道的时间。

另一方面，在数据传输快速响应时 DRX 短周期较为有利。在分组交换网络中，一些用户数据包到达 eNB 的时间大大晚于其他的用户数据包。此时，如果 UE 在迟到的用户数据包到达之前使用 DRX 长周期，那么迟到的用户数据包将会在下一个 DRX 长周期的唤醒时间被传送至 UE。由于这些用户数据包在到达 eNB 之前已经有了很长的延时，DRX 长周期的额外延时将会大大影响 QoS。因此，为了避免 UE 过早进入 DRX 长周期，UE 就会使用 DRX 短周期。如果在 UE 使用 DRX 短周期时用户数据包到达 eNB，UE 就会在下一个 DRX 短周期唤醒时间进入下行链路指定的连续接收模式。然而，如果在 DRX 短周期期间没有用户数据包到达，UE 就会进入 DRX 长周期。此时认为数据传输活动已经结束。

图 6.7 描述了 DRX 长周期、短周期和连续接收模式之间的转换。如果触发了特定准则，UE 会从连续接收模式转换为 DRX 短周期模式，从 DRX 短周期模式转换到 DRX 长周期模式，从 DRX 长周期模式转换到连续接收模式。这些转换通过定时器或者来自 eNB 的显式命令来控制。

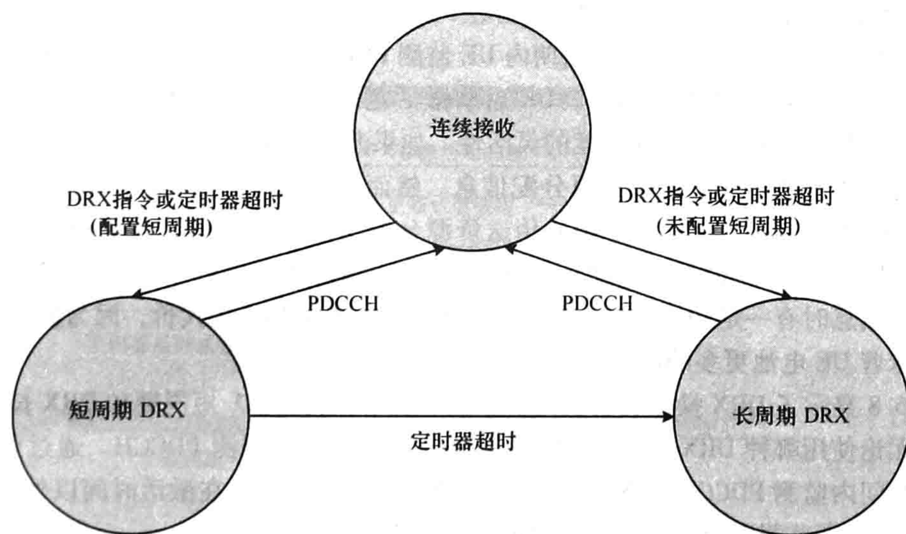


图 6.7　DRX 状态转换

DRX 非激活定时器控制着从连续接收模式到 DRX 短周期模式或者 DRX 长周期模式的转变。如果 UE 直到 DRX 非激活定时器超时也没有接收到任何新的资源分配的信息，它将转换成下一级的 DRX 周期，即如果配置了，就转换为 DRX 短周期，否则，就转换为 DRX 长周期。

当 UE 进入 DRX 短周期以后，就会启动 DRX 短周期定时器。在 DRX 短周期定时器超时之前 UE 都会处在 DRX 短周期，在 DRX 短周期定时器超时以后，会进入 DRX

长周期模式。如果在DRX短周期定时器运行期间UE收到任何资源分配的信息，它会进入连续接收模式。实际上，无论UE何时接收到资源分配信息指示在某一DRX周期中有新的数据发送，它都会立即转换到连续接收模式。

除了基于定时器的转换，也会使用基于显式命令的转换。如果eNB确认UE不再有数据或者某一时间它不想为UE调度下行数据，eNB可以向UE发送DRX命令MAC CE。当UE接收到这个DRX命令MAC CE，它立即转换为DRX短周期模式（如果有相关配置）或者DRX长周期模式。

在连续接收模式中，UE一直监测着除了用于半双工FDD UE操作的上行传输的子帧和测量窗口的子帧以外的PDCCH的所有子帧。简单地说，连续接收模式可以在DRX非激活定时器运行期间与时间相匹配。

在DRX短周期和DRX长周期中，UE监测着PDCCH中所有可用子帧中的一些子帧。由于UE监测着所有子帧的一小部分，可以减少UE的功率损耗。为了指示下行数据的可用性和减少交付延迟，UE和eNB应该在UE什么时间监测PDCCH和eNB什么时间向UE发送资源分配信息的问题上达成共识。

在每个DRX周期中强制性的PDCCH监测时间被称为“激活时间”，它被放在每个DRX周期的第一部分。更加具体地说，DRX周期包括UE应当监测PDCCH的激活时间和UE被允许不监测PDCCH的DRX时间。

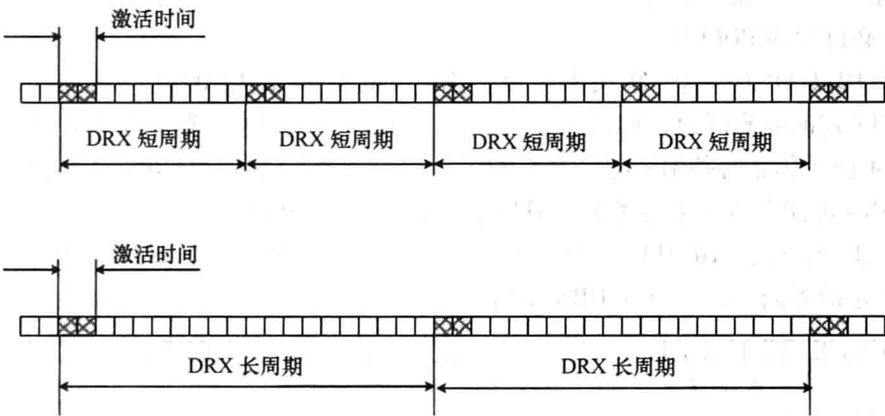
子帧的数目或者在一个DRX周期内UE监测PDCCH的时间的长度是由激活定时器控制的。在每个DRX周期开始时，UE启动激活定时器，在定时器运行期间监测PD-CCH。定时器的长度控制eNB调度的灵活性。如果激活定时器的长度是一个子帧，eNB只有在这个子帧期间才能发送资源分配信息。然而，如果激活定时器的长度大于一个子帧，eNB可以选择一个可用子帧来传送资源分配信息。这对eNB是有利的，尤其是当PDCCH严重过载的时候。因此，根据激活定时器的长度大小，eNB在决定何时发送资源分配信息时有一定的灵活性。但是这在UE端付出了相应的代价，因为监测更多的子帧意味着UE电池更多的消耗。

图6.8显示了DRX操作的一个例子。图6.8a展示了DRX短周期和DRX长周期的时间。无论使用哪种DRX周期，UE都应当在激活时间内监测PDCCH。通过强制UE在激活时间内监测PDCCH，eNB不需要一直等待UE的接入。在激活时间以外的时间，UE可以通过不监测资源分配信息来实现电池节能。

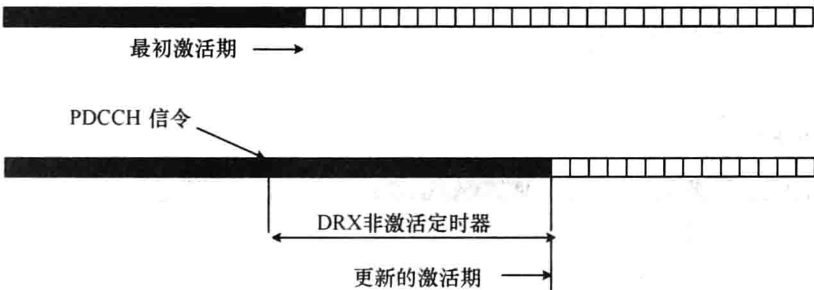
激活期是UE应该监测PDCCH可能的资源分配信息。激活期包括DRX非激活定时器、DRX重传定时器和激活定时器运行的时间。在激活期内收到了资源分配信息后，UE启动或者重启DRX非激活定时器，然后在DRX非激活定时器运行期间监测PDCCH的每个子帧。因此，在激活期内收到资源分配信息有效地扩展了激活期，如图6.8b所示。

在DRX非激活定时器超时以后或者收到DRX命令MAC CE，UE停止激活期然后进入DRX短周期或者DRX长周期。eNB可以随时发送DRX命令MAC CE使得UE立即进入DRX周期。如图6.8c所示。

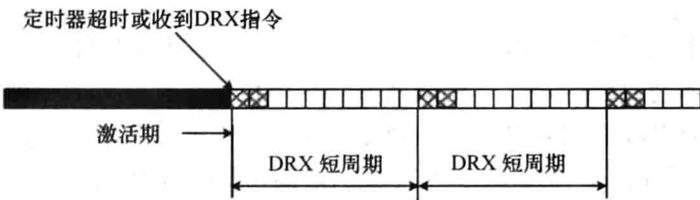
最为了大限度地提高 UE 的电池效率，在 DRX 的操作中也会考虑 HARQ 的特点。如图 6.9 所示。



a) DRX 短周期与DRX 长周期



b) 激活期扩展



c) 激活期终止

图 6.8　DRX 具体操作

如图 6.9a 所示，HARQ 包括一系列的步骤：发送者的发送，无线接口的传输延时，接收端的解码和 ACK/NACK 传输，另一个无线接口的 ACK/NACK 传输延时，发送端接收 ACK/NACK 以及发送端的另一次发送。考虑到所有这些步骤，一次 HARQ 过程的子序列发送和接收，是一个相当长的时间周期。

为了利用这一发现，我们在每个 DL HARQ 进程中使用了 HARQ 回程时间定时器

（HARQ RTT timer）来减少等待 HARQ 重传的 UE 的功率损耗。当一次下行传输块的解码不成功时，UE 为 HARQ 进程启动 HARQ RTT 定时器，此时我们假设下一次 HARQ 重传进程将至少发生在 HARQ RTT 定时器超时以后。这是因为 HARQ RTT 定时器运行期间 UE 不必再检测 PDCCH。

如果 DL HARQ 解码传输块不成功，eNB 可能会进行 HARQ 重传操作。因此，在 HARQ RTT 定时器超时时，UE 应当继续监测 PDCCH，此时可能会有 HARQ 重传。然而，UE 不能无休止等待 HARQ 重传的到来，因为可能会发生 HARQ NACK-to-ACK 错误或者 eNB 可能会自主地对相关的 HARQ 进程不发送任何东西。为了限制可能重传的 PDCCH 的监测时间，DL HARQ 进程使用了 DRX 重传定时器。在 HARQ RTT 定时器超时后这个定时器启动，只有在 DRX 重传定时器运行期间 UE 才监测 PDCCH。

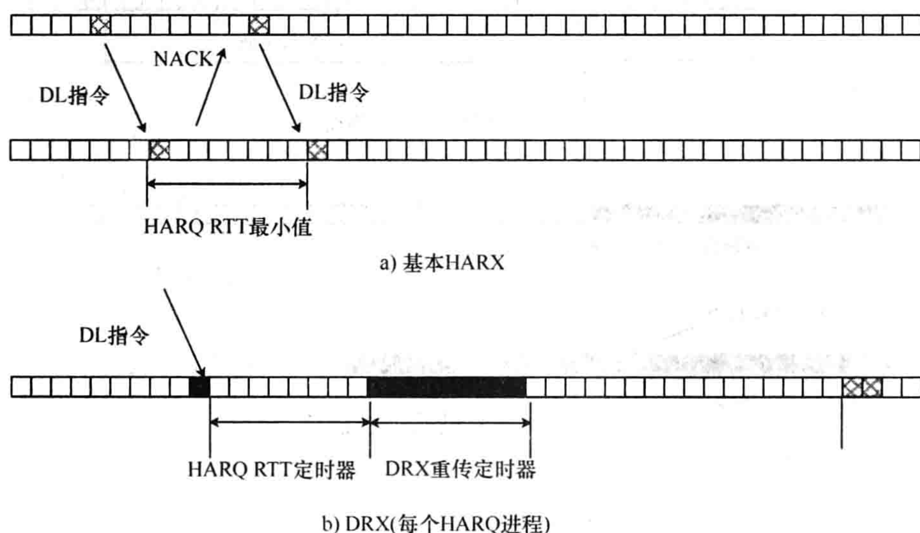


图 6.9　HARQ 相关 DRX 操作

DRX 重传定时器的长度与 eNB 调度的灵活性大小有关。为了最佳的 UE 电池消耗，在 HARQ RTT 定时器超时以后 eNB 尽快调度 HARQ 重传是非常必要的。然而，这就要求 eNB 总是为 HARQ RTT 定时器超时的子帧保留发送有关资源分配的信息的能力。为了放松该调度约束和限制 UE 监测 PDCCH 所花的时间，DRX 重传定时器的长度应当仔细选择。

6.8 混合自动重传请求

由于无线信道的固有的不利条件，发送端发送的往往不是接收端所接收到的。为了克服这个障碍，接收端应当能够探测它所接收到的是否正确。另外，发送端应当能够进行另外一次发送来确认是否有错误。应用以上提到的两个要素的交流思想被称作自动重传请求（ARQ）。然而，如果接收端可以自己进行恢复和校正，这将会改进传输

效率。这项能力被称为前向纠错编码（Forward Error Correction，FEC）。结合 FEC 的 ARQ 被称作 HARQ。

在 LTE 中，使用的是软结合 HARQ。这种方法中，当接收到数据单元的编码比特块时，接收端会尝试对其进行解码。如果成功解码，恢复的数据单元就会被送至高层。但是，如果解码不成功，接收端就会通知发送端解码失败，发送端就会重新发送数据单元。接着，第一次接收到的编码比特块和接收到的编码比特块会结合在一起来解码恢复原来的数据单元。尽管每个接收到的编码比特块不足以单独恢复原来的数据单元，但有时结合多个编码比特块进行解码就可能恢复原始数据单元。

在 LTE 中，也会采用 N-channel 的停止等待（Stop-And-Wait，SAW）思想。SAW 也就是说在发送端发送数据单元时，发送端在收到接收端的反馈之前会停止进一步的发送。当收到 HARQ NACK 时，发送端就会重传先前的数据单元。然而，由于通过无线接口的传输延时以及发送端和接收端的处理延时，在发送端不发送数据时会有一段时间。为了有效利用无线资源，增加数据传输速率，减少这段时间是很必要的。因此，多个独立的 HARQ 进程在时间上是交错的，使得所有的传输时间资源能够至少被其中一个 HARQ 进程所使用。每个 HARQ 进程负责一个单独的 SAW 操作和管理一个独立的解码缓冲区。N-channel SAW 操作的一个例子如图 6.10 所示。

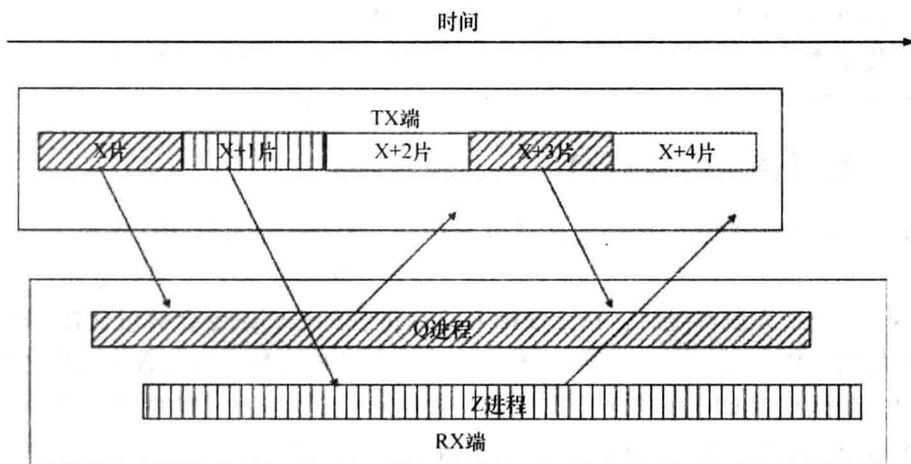


图 6.10　N-channel SAW 操作

一般来说，HARQ 操作可以根据对于给定的 HARQ 进程重传发生在预定时间或者任意时间来分类，也可以根据 HARQ 重传是自适应的或者非自适应的来分类。在 LTE 中，下行链路中使用异步自适应 HARQ，上行链路中使用同步自适应或者同步非自适应 HARQ。

PDCCH 传输的新数据指示符（NDI）指明了当前发送的数据是新数据还是重传数据。如果下行链路分配中 NDI 的值和上次下行链路分配相比发生了变化，这意味着对给定的 HARQ 进程发送的是新数据单元。相似地，如果在上行准许中 NDI 的值发生了变化，UE 应当发送一个新的数据单元。

使用 ARQ 和 HARQ 的原因是在发送和接收过程中可能会发生错误。由于信道噪声的影响，发送端所发送的有时会在通过无线接口时被损坏。通过使用 ACK 和 NACK，发送端可以知道它所发送的是否被接收端成功接收。然而，ACK 和 NACK 是通过和数据传输相同的媒介来传输的。因此，有时发送的 ACK 可能被作为 NACK 接收，反之亦然。

6.8.1 上行链路中的 HARQ

在 LTE 的上行链路中使用的同步 HARQ，每个 HARQ 进程的重传发生在相对于初始传输的一个预定的时间。利用 HARQ 成功传输的时间间隔和每次传输的持续时间，可用的 HARQ 进程的最大数目可以被计算出来。由于 HARQ 进程以轮流的方式在使用，基于发送时间，给定的时间内使用的 HARQ 进程可以很容易地被识别出来。

在上行链路中，HARQ 重传可以是自适应的或者非自适应的。自适应的 HARQ 重传意味着在 HARQ 重传中会提供传输属性诸如调制、编码以及频域传输资源分配的新的信令。非自适应的 HARQ 重传意味着先前使用的传输属性会由于在传输属性方面没有任何新的信令而被再次使用。

在上行链路默认使用的非自适应重传中，当没有通过 PDCCH 收到新的显式信令时，UE 就会在相关 HARQ 进程中使用和先前 HARQ 重传的相同属性来执行重传，或者使用按照先前配置的规则的属性进行重传。然而，在重传过程中收到新的信令时，HARQ 重传就会使用包含在信令消息里的传输属性进行重传。

6.8.2 下行链路中的 HARQ

在 LTE 的下行链路中，使用的是异步 HARQ。对于给定的 HARQ 进程 HARQ 重传可能发生在和初始传输相对的任何时间。由于在同一时间有好几个 HARQ 进程在活动，当 eNB 为 UE 分配无线资源时，指示使用 HARQ 进程的显式信令会被包含在 PDCCH 中的资源分配信息中。在显式信令中，目标 HARQ 进程标识符应当包含在其中以便于接收端可以正确地把 HARQ 重传和相同 HARQ 进程的相应的初始传输联系起来。

在下行链路中使用的自适应重传中，传输属性可能会根据无线信道条件的变化在每个 HARQ 重传中改变。尽管自适应模式带来了更多的调度收益和灵活性，它同时也增加了 PDCCH 信令的开销。这是因为无论 HARQ 重传发生在何时，eNB 都会发送资源分配信息。

6.8.3 TTI Bundling

由于使用电量有限的电池和功率放大器的有限能力，UE 在上行链路的传输功率是有限的。因此，当 UE 接近小区的边缘时，在一个子帧中，即使一个诸如 VoIP 的非常小的数据包可能也无法发送。换句话说，和位于小区中心的 UE 数据发送相比，小区边缘的 UE 的每个子帧需要更多的能量来达到相同的误码率。如果 UE 无法增加它的发送功率，UE 应当延长发送时间来增加每个比特的有效能量。最终，这可以看作是减少每

帧数据的有效量。

在 RLC 层通过给每个子帧形成更小的 PDU 也可以减少数据的有效量。然而，由于 RLC 和 MAC PDU 的报头也会导致更多的开销，因此，基于 MAC 的解决办法比基于 RLC 的更好。TTI Bundling 就是一种基于 MAC 的解决办法。

TTI Bundling 在扩展上行链路的覆盖范围和减少延迟方面是有效的。如果不使用 TTI Bundling，那么 HARQ 进程就会需要 24 个子帧来完成伴有三次重传的一次初始数据的传输。然而，如果使用了 TTI Bundling，只需要 4 个子帧就可以完成 4 次 HARQ 传输（重传）。因此 TTI Bundling 技术对于诸如 VoIP 这种每 20ms 就生成用户数据包的具有敏感延时的业务是很有帮助的。

在常规的动态 HARQ 操作中，每个上行链路中的 HARQ 进程每 8 个子帧就会有传输的机会，每次的重传都是由来自 eNB 的 HARQ 反馈来单独控制的。从另一方面来说，如果使用了 TTI Bundling，每个 HARQ 进程使用一个 TTI 束组成 4 个连续的子帧在上行链路中传输。

在 TTI 束中形成的上行 HARQ 传输共享同样的 HARQ 反馈。如图 6.11 所示，如果不使用 TTI Bundling，当 UE 接收到来自 eNB 的 HARQ NACK 时都会进行 HARQ 重传，如果使用了 TTI Bundling，即使没有 HARQ 反馈，在 TTI 束中紧接着第一个子帧的随后三个子帧中 UE 会自动执行 HARQ 重传。

当 eNB 想要控制 TTI 束的 HARQ 重传，它应当考虑第一个子帧的定时发送上行准许。UE 基于和 TTI 束最后一个子帧相关定时的 HARQ 反馈来确定一次成功的发送。此时，无论 TTI 束中第四个子帧是否发生实际的数据传输，最后一个子帧总是 TTI 束的第四个子帧。

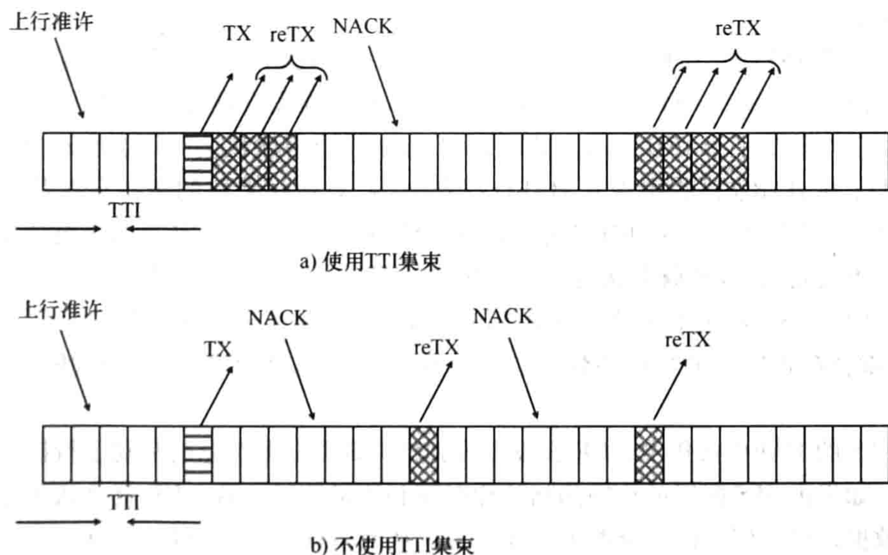


图 6.11　TTI Bundling

TTI Bundling 的使用带来了一个权衡。每个 TTI 束包含 4 个子帧，这就要求 eNB 进行大量的调度考虑。由于 4 个子帧是很大一块无线资源，eNB 应当非常谨慎来保

证 TTI 束的每个子帧不和分配给其他 UE 的无线资源相冲突。TTI 束中的 HARQ 重传是非自适应的，这会进一步限制 eNB 调度的灵活性。另外，如果 eNB 使用 TTI 束的开头的一些子帧成功解码了用户数据，TTI 束中的其余的子帧对无线资源来说就是一种浪费。然而，正如先前所陈述的，TTI Bundling 减少了小区边缘 UE 的数据传输的延时，这有利于实时服务，如 VoIP 服务。另外，通过使用 TTI Bundling，由于 TTI 束中最后 3 个子帧不需要诸如 HARQ 反馈或者上行准许的信令，这有效地减少了资源分配信息的开销。

6.8.4 测量窗口

由于 UE 总是在移动，UE 所连接的小区应当随着 UE 的位置和无线信号的质量而发生改变。尽管 eNB 可以测量 UE 所发送的无线信号的质量，但无法测量 UE 接收到的无线信号的质量。因此，为了在考虑何时改变服务小区和 UE 应当连接哪个小区时做出更加准确的决定，UE 应当测量小区的下行信号并把结果报告给 eNB。

一般来讲，UE 可以测量 UE 正在使用的同频率的小区，当它处于 RRC_IDLE 状态时，它还可以测量除了 UE 正在等待的频率以外的其他频率的小区。但当 UE 处于正在发送或者接收用户数据的 RRC_CONNECTED 状态时，它没有时间去测量其他的频率或其他的无线接入技术（RAT）。例如，当上行的 8 个 HARQ 进程已经被初始传输或者重传所调度，UE 无法调整至其他的频率或者其他的 RAT。在这种情况下，为了使 UE 进行所要求的测量，eNB 在 UE 不需要在上行链路中发送也不需要监听下行信道时，为 UE 配置了测量窗口。这样，在测量窗口中，UE 可以避开服务频率，也可以忽略 HARQ 操作。

然而，HARQ 操作应用了关系到测量窗口的一些规则来减少其对数据传输活动的影响。当由于测量窗口导致发送的传输块的 HARQ 反馈没有被收到，UE 就会认为对于该传输块已经收到了 HARQ ACK。此时，UE 在下一个传输机会时不会自动启动 HARQ 重传。为了在 HARQ 进程中恢复 HARQ 操作，UE 必须收到新的资源分配信息。接着 UE 就会根据资源分配信息的内容进行 HARQ 传输或者 HARQ 重传。当上行传输块由于测量窗口无法发送，UE 就会认为对于该传输块收到了 HARQ NACK。这是一个很自然的结果，因为 eNB 甚至不能尝试对由于测量窗口而无法发送的传输块进行解码。相应地，UE 就会在其从测量窗口中恢复以后，在下个传输机会时对该传输块进行 HARQ 重传。

在 SPS 的 HARQ 操作中，UE 在没有收到任何资源分配信息时启动上行链路传输的初始化。如果由 SPS 配置的传输的初始化时间和测量窗口一致，UE 就会认为尽管没有实际的数据传输，但是已经分配了无线资源。从测量窗口中恢复以后，UE 在下一个可利用的传输时间进行 HARQ 重传，或者根据接收到的资源分配信息或 HARQ 反馈进行相关操作。

6.9 随机接入过程

当UE有数据要发送但是却没有被分配上行无线资源或者UE与上行链路不同步时使用RA（随机接入）过程。在成功进行RA过程以后，UE的发送时间与上行链路同步，还可能分配有上行无线资源。当eNB被分配给UE专用前导以后，RA过程就会初始化。当下行数据到达与上行链路不同步的UE以后或者与目标小区的接入需要切换时就会分配专用前导。

RA过程有两种类型。第一种是基于竞争的RA过程，此时，RA前导由UE随机选择；另一种是基于非竞争的RA过程，此时UE使用的RA前导是由eNB指定的。

对于基于非竞争的RA过程，RA前导可以由使用RRC消息的RRC信令通知，或者由通过PDCCH的PHY信令通知。当eNB想要对某一UE触发RA过程但它却由于小区中有限的RA前导资源无法为UE分配专用的RA前导，eNB可以使用标号为“000000”的RA前导通知UE。当UE收到标号为“000000”的RA前导，UE就会启动基于竞争的RA过程。

对于基于竞争的RA过程，有两组RA前导：RA前导组A，RA前导组B。使用哪组RA前导取决于路径损耗、MAC PDU的估计大小以及RA尝试是初始尝试还是再次尝试。如果估计的MAC PDU较大，测量到的路径损耗较小，UE会在RA前导组B中选择一个RA前导，否则，UE会在RA前导组A中选择一个RA前导。另外，当UE进行RA过程的再次尝试时，UE应当选择与第一次RA过程尝试所使用的RA前导相同的前导组。

这两种RA过程如图6.12所示。

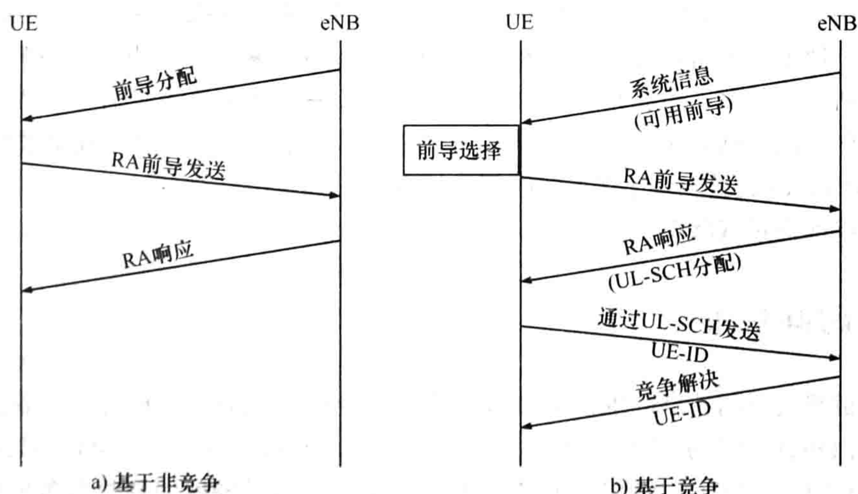


图6.12 2种RA过程

在基于竞争的RA过程中，由于UE可以自己选择RA前导，可能在同一时刻不止

一个 UE 发送相同的 RA 前导。此时，仅仅由 eNB 对 RA 前导的接收确认是不够的，eNB 需要进一步解决竞争，通过这样的方式 UE 应当指明哪些 UE 所发送的被收到了。因此，为了解决竞争，当 UE 通过 RA 响应所分配的上行无线资源发送 MAC PDU 时，UE 在 MAC PDU 中包含进了它自己的标识信息。因此，如果它有有效的 C-RNTI，MAC PDU 中就会包含 C-RNTI MAC CE；如果它没有有效的 C-RNTI，例如当发送 CCCH 消息时，包含 UE 标识信息的 CCCH SDU 就被包含在 MAC PDU 中。

在这之后，当 UE 探测到通过 PDCCH 的 C-RNTI 或者收到与先前发送的 CCCH SDU 相同的 UE 竞争解决认证 MAC CE，UE 就会认为 RA 过程成功。然而，如果 UE 没有探测到匹配标识符或者 MAC CE，它就会开始尝试另一次的 RA 过程。

在基于非竞争的 RA 过程中，由于指定的 RA 前导只有唯一特定的 UE 使用，此时不会发生冲突。一旦 eNB 探测到 RA 前导，eNB 知道 UE 的接入，过程随着 RA 响应的发送而停止。这意味着基于非竞争的 RA 过程比基于竞争的 RA 过程更有效更快。因此，基于非竞争的 RA 过程主要在实时过程的切换过程中使用。另外，如果 eNB 想要使上行链路时间不同步的 UE 快速同步，eNB 可以分配一个指定的 RA 前导来使 UE 进行 RA 过程并在上行链路中变得同步。

一旦 RA 过程初始化，该过程就会持续到完全成功或者 RRC 层终止当前的 RA 过程。因此，如果在某一时间内没有收到 RA 响应，或者收到 RA 响应但是发送的 RA 前导的匹配标识符没有包含在 RA 响应中，或者 UE 对竞争解决不成功，UE 就会启动 RA 过程的另一次尝试。如果在几次之后 RA 过程的尝试持续失败，MAC 层会向 RRC 层报告失败情况，通知 RRC 层最终停止正在进行的 RA 过程。

在由于许多 UE 同时运行 RA 过程而导致的小区过载的情况中，eNB 可以通过 RA 响应发送回退参数，以处理过载的状况。回退参数只有在 UE 进行基于竞争的 RA 过程中才能应用。一旦 UE 收到回退参数，如果没有收到 RA 响应或者竞争解决不成功，UE 将会在 0 到回退参数指定的值之间选择随机值。UE 接下来就会在下一次 RA 过程尝试之前使用所选择的值；也就是说，UE 应当在启动下一次 RA 过程之前至少等待对应于所选的值的时间。通过回退参数延迟一些 UE 的 RA 过程尝试，eNB 减少了同时尝试 RA 过程的 UE 的数量。由于在给定时间尝试 RA 过程的 UE 减少了，RA 过程的成功率上升，最终解决过载状况。

6.10 时间校准

上行链路的时间校准的维护是由 MAC 层控制的，这对确保 UE 发送的数据在规定时间窗口内到达 eNB 来说非常重要。如果 UE 发送的数据在规定时间窗口之外到达 eNB，那么 UE 的发送对其他 UE 来说是干扰。UE 将它的传输时间调整为多少是由时间提前命令（Timing Advance Command，TAC）MAC CE 来控制的。eNB 通过测量 UE 的上行传输计算出需要调整的时间的多少，eNB 通过 TAC MAC CE 把调整信息传给 UE。在收到 TAC MAC CE 以后，UE 调整它的上行传输时间，启动时间校准定时器。只要时

间校准定时器在运行，UE就会认为它的上行传输时间是校准的，它可以使用任何分配给它的上行无线资源。在时间校准定时器超时以后，UE认为它的上行传输时间不再校准，接着释放所有配置的上行无线资源，例如SPS、PUCCH、SRS的无线资源。

在LTE中，UE不是一直需要保持上行时间校准。当用户数据到达UE缓存中，如果UE的上行时间没有经过校准，UE首先应该执行RA过程来重新同步上行链路的时间。由于RA过程需要花一些时间来完成，可以说UE在数据传输中存在延迟，然而，如果UE在没有用户数据传输时还要保持上行时间校准，UE应该进行周期性的上行传输让eNB决定UE的上行时间是否应该调整。否则，eNB没有依据UE应该的上行链路时间偏移量。这样，在连接期间保持时间校准不仅浪费了无线资源，还缩短了UE电池的寿命。因此，当当前时刻的数据传输活动不再活跃时，即使处于RRC_CONNECTED状态UE也可以断开上行时间同步。在eNB没有向UE发送TAC MAC CE的情况下这样做，会最终导致timeAlignmentTimer超时。

如果UE的上行传输时间没有校准，UE可以使用分配的上行无线资源。但是，如果UE的上行传输时间没有经过校准，UE除了RA过程所使用的资源不该使用任何上行无线资源。这是因为UE的传输将会对其他UE造成干扰。注意此时UE也不能发送HARQ ACK或者HARQ NACK，因此，当eNB想要为上行传输时间没经过校准的UE发送用户数据时，eNB首先应该执行校准上行传输时间的过程。为了达到这个目的，eNB可以命令UE执行RA过程。在一次成功的RA过程之后，UE将会恢复上行链路时间校准，eNB也可以继续向UE进行用户数据传输。

当UE有数据要发送，上行时间却没有校准时，UE必须进行RA过程来请求分配上行无线资源的分配。在RA过程期间，UE通过RA响应接收时间调整信息。这样，在RA过程期间，上行时间很自然地被校准，这使得RA过程成功完成。然而，如果UE在RA过程中的竞争解决方面不成功，这意味着通过RA响应接收的时间调整信息目标并非UE。此时，不成功的UE应当立即停止时间校准定时器来使上行传输时间无效化。

有时候，上行数据可能会在时间校准定时器运行期间到达没有分配任何上行无线资源的UE，此时，如果UE使用基于竞争的RA过程来请求上行无线资源，UE应当忽略接收到的包含在RA响应中的时间校准信息。否则，该UE有可能错误应用针对于同时运行RA过程的其他UE的时间校准信息。

6.11 MAC PDU格式

MAC PDU是在MAC层和PHY层之间交换的数据块单元。由于复用的缘故，MAC PDU由MAC CE和MAC SDU构成，并会被传送至PHY层。由于市场上处理数据的PDU绝大多数是8bit及其倍数来处理数据，MAC PDU，MAC SDU，MAC CE，MAC子报头被设置为8bit的倍数。通常情况下MAC PDU的格式如图6.13所示。

MAC PDU主要由MAC报头和MAC负载部分组成。MAC报头是由MAC子报头组

成，而 MAC 负载部分是由 MAC CE、MAC SDU 和填充位构成。一般来说，每个子报头都和一个 MAC CE 或者 MAC SDU 或者填充位相对应。MAC CE、MAC SDU 和填充位的顺序和 MAC 子报头的顺序相同。然而，一些 MAC CE 只有子报头，MAC 负载部分没有任何东西。为了尽可能快地处理控制信息，MAC CE 在任何 MAC SDU 以及填充位之前被安置好。

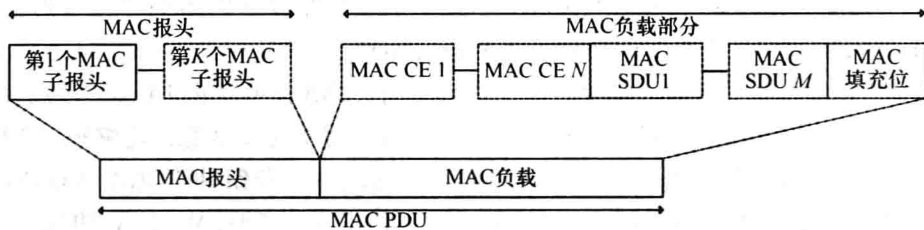


图 6.13　MAC PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

每个 MAC 子报头包括逻辑信道 ID（Logical Channel ID，LCID）域，长度（Length，L）域，格式（Format，F）域以及扩展（Extension，E）域。

LCID 指明 MAC 负载中相应的部分是 MAC CE、MAC SDU，还是填充位。另外，LCID 域指明了 MAC CE 的类型或者 MAC SDU 属于哪个逻辑信道。

F 域指明了 L 域的大小。L 域的大小有两种类型：7bit 或者 15bit。

L 域指明了相关的 MAC SDU 或者 MAC CE 的大小。使用哪种大小的 L 域取决于相应的 MAC SDU 比 128B 大还是小。

对于 MAC PDU 中的最后一个子报头，L 域和 F 域省略掉了，这是因为 MAC 负载的最后一部分可以利用 MAC PDU 的总大小和 MAC PDU 中其他元素的大小自动计算出。另外，对于固定大小的 MAC CE，L 域和 F 域在相应的 MAC 子报头中也省略掉了。

E 域指出了当前的子报头在 MAC PDU 中是否是最后一个子报头。

图 6.14 显示了 MAC 子报头的格式，第一个是由 MAC PDU 中不是最后元素的 MAC SDU 或者可变大小的 MAC CE 使用的。第二个是由 MAC PDU 中是最后元素的 MAC SDU 或者固定大小的 MAC CE 使用的。



图 6.14　MAC 子报头格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

当MAC PDU被用来传输来自PCCH或者BCCH逻辑信道的用户数据时，MAC PDU包含着只来自一个逻辑信道的数据。由于逻辑信道中的数据在MAC PDU中不进行复用，在MAC报头中没有必要包含LCID域。另外，对于通过PCCH和BCCH传输的RRC消息，RRC层形成和MAC PDU同样大小的RRC消息。这样就没有必要单独指出在MAC报头中的MAC SDU的大小了。用来为PCCH和BCCH传输数据的MAC PDU在PHY层很容易被识别出来，这是因为在PHY层的信令中有单独专用的标识符。因此，对于用来传输PCCH或者BCCH数据的MAC PDU来说，我们使用透明的MAC PDU格式，如图6.15所示。

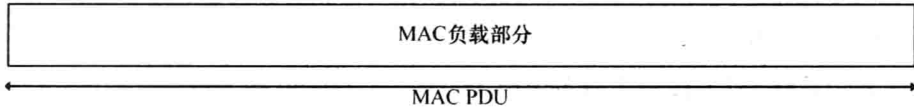


图6.15　透明MAC PDU格式

6.11.1　MAC控制单元

MAC CE（Control Element，控制单元）是在eNB和UE间的MAC层的控制信令使用的。对于每种类型的MAC CE，分配了一种特殊的LCID来唯一识别每个MAC CE。通过LCID的使用，没有必要在MAC子报头中使用一个单独的域来区分MAC SDU和MAC CE。MAC CE中LCID的值如表6.3所示。

表6.3　MAC CE中LCID值

索　引	方　向	MAC CE类型
11010	UL	功率余量报告
11011	UL	C-RNTI
11100	UL	截短BSR
11101	UL	短BSR
11110	UL	长BSR
11100	DL	UE竞争解决标识
11101	DL	时间提前命令
11110	DL	DRX命令

1）缓存状态报告MAC CE：关于UE缓存中积累了多少数据的信息使用这种MAC CE从UE传送至eNB。使用3个LCID值来区分短BSR、长BSR、截短BSR。BSR MAC CE中的LCG组域指明了接下来的缓存大小域所对应的4个LCG之一。缓存大小域实际上指出了在相关LCG的缓存中积累的数据量。短BSR和截短BSR包括1个LCG的缓存状态，长BSR包括了所有4个LCG的缓存状态。

2）功率余量 MAC CE：UE 使用这种 MAC CE 将可用的功率余量信息报告给 eNB。

3）DRX 命令 MAC CE：这种 MAC CE 是由 eNB 发送至 UE 的，被用来使 UE 进入 DRX 周期来节省 UE 的电池电量。这种 MAC CE 只包含一个 MAC 子报头，并且这种 MAC CE 的大小是固定的。

4）时间提前命令 MAC CE：这种 MAC CE 由 eNB 发送至 UE，通知 UE 用于上行时间校准的时间的调整量，这种 MAC CE 的大小是固定的。

5）C-RNTI MAC CE：这种 MAC CE 由 UE 发送至 eNB，包含 UE 在 RA 过程中用来解决竞争的 C-RNTI。只有当 UE 有有效的 C-RNTI 时才会使用这种 MAC CE。这种 MAC CE 的大小是固定的。

6）UE 解决竞争标识 MAC CE：这种 MAC CE 由 eNB 发送至 UE，在 RA 过程中用来解决竞争。只有当 UE 没有有效的 C-RNTI 时才会使用这种 MAC CE。当 UE 在 RA 过程中发送了 CCCH SDU，eNB 在这种 MAC CE 中包含了相同的 CCCH SDU 来指明哪个 UE 赢得了竞争解决。通过比较 CCCH SDU 中发送的和接收到的 UE 解决竞争标识 MAC CE，UE 可以决定 RA 过程是否成功完成。这种 MAC CE 的大小是固定的。

6.11.2　随机接入响应 MAC PDU

RA 响应是用来确认 RA 前导的接收并给出时间校准信息。由于 RA 响应消息的解码是由多个 UE 完成，RA 响应的 MAC PDU 的格式与一般 MAC PDU 的格式不同；一般 MAC PDU 只由一个特定的 UE 来解码。RA 响应的 MAC PDU 包含 MAC PDU 报头以及 0 个或多个 MAC RAR 元素，如图 6.16 所示。

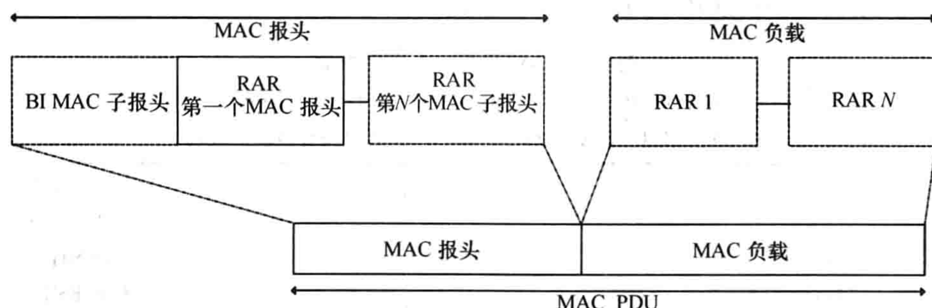


图 6.16　RA 响应 MAC PDU 格

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

MAC 报头由一个或多个 MAC 子报头组成，MAC 子报头包括 RA 前导标识符或者回退指示位。RA 前导标识符或者回退指示位是否被包含是由类型（Type，T）域指出的。

对于每个包含 RA 前导标识符的子报头，相应的 MAC RAR 元素包含在 MAC PDU 中。每个 MAC RAR 元素包含时间提前命令域、UL 准许域和临时的 C-RNTI 域。

UL 准许域包含关于分配的上行资源信息，这些资源 UE 将会用来发送接下来的上

行 MAC PDU。

临时 C-RNTI 域包含 UE 在接下来的由 UL 准许域分配的上行资源的 HARQ 操作和在下行为了竞争解决的 MAC PDU 使用的 C-RNTI 信息。对于没有有效 C-RNTI 的 UE，临时 C-RNTI 域就会在 UE 成功完成 RA 过程后晋升为正常的 C-RNTI。然而，如果 UE 没能完成 RA 过程，包含在 MAC RAR 元素中的临时 C-RNTI 域就会在 UE 中被删除。对于基于非竞争的 RA 过程，临时 C-RNTI 域被忽略。

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 36.321, "Medium Access Control (MAC) Protocol Specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第7章　LTE及LTE-Advanced新特征综述

如1.1节所述，各个版本中都开发了第三代合作伙伴计划（3GPP）系统的规范。长期演进（LTE）的第一个规范版本是R8版本（Rel-8），R8版本规范标准化早期阶段的重点在于完成基本功能。在这之后，R8版本和R9版本（Rel-9）中加进了新的功能来完善，这一直到2009年底。然而，即使有了这些改善，R9版本的LTE系统也没有满足由国际电信联盟（ITU）定义的4G系统的需求。因而，为了满足ITU的需求，R10版本（Rel-10）的LTE规范中增加了其他的功能。本质上，先进的长期演进（LTE-A）系统是一个和LTE系统兼容的系统，并且它满足了第四代（4G）无线系统ITU的性能需求。R10版本的规范在2010年的第二季度完成，从2012年的二月起，R10版本（Rel-10）的工作一直在进行。

本节简要概述了LTE和LTE-Advanced的新功能。以下功能在随后的章节中将介绍：

1）R8版本（Release 8，Rel-8）：基于LTE网络的语音呼叫（Voice over LTE，VoLTE），和家庭基站（Home eNB，HeNB）。

2）R9版本（Release 9，Rel-9）：公共警报系统（PWS），多媒体广播/组播服务（MBMS）。

3）R10版本（Release 10，Rel-10）：载波聚合（CA）中继（Relay），最小化路测（MDT），增强型小区间干扰协调（enhanced Inter-Cell Interference Coordination，eICIC）和机器模式通信（MTC）。

7.1　基于LTE网络的语音呼叫

在由无线网络提供因特网服务之前，语音服务被大多数移动运营商认为是最重要的收入来源。即使在基于无线网络的因特网的引入和智能手机的广泛普及之后，语音服务仍然是所有顾客期待的最重要的服务之一。因此，如果没有对语音服务合适的支持，LTE系统将不会成功。

另一方面，由于连接的灵活性、介质的多样性以及各种应用程序，以IP为基础的服务已被采纳并应用于大多数网络系统，包括LTE系统。比如，语音呼叫服务、消息服务、视频通话服务、会议服务和多媒体服务等广受欢迎的服务将基于IP被提供。因此，3GPP定义了一种标准的结构支持那些基于IP的服务，这种结构被称为IP多媒体子系统（IP Multimedia Subsystem，IMS）结构。基于IMS结构的IP语音服务被称为IMS VoIP，这是LTE系统中提供语音服务的基本解决方案。

尽管基于 LTE 系统提供 VoIP 服务，IMS 的推出和实施仍将需要相当长的时间。因此，在 IMS VoIP 在大多数移动网络上变得完全可用之前，一个给 LTE 系统中的用户提供语音服务的中期方案需要被提供。电路交换回退（Circuit-Switched FallBack，CSFB）机制是中期解决方案之一。当一个 UE 的语音服务开启时，CSFB 指示 UE 从 LTE 系统到一个遗留系统，如 GSM（全球移动通信系统）、UMTS（通用移动通信系统）、CDMA2000（Code Division Multiple Access 2000），或为 UE 提供基于传统电路交换（Circuit-Switched，CS）的语音呼叫的 1xRTT。双模单待无线语音呼叫连续性（Single Radio Voice Call Continuity，SRVCC）机制是另一种中期解决方案，它能够通过传统系统实现从 IMS VoIP 服务到基于 CS 的语音通话的切换。

7.2　家庭增强型基站

有两种类型的 eNB：Macro eNBs 和 Home eNBs。移动网络运营商部署的 Macro eNB，可以被所有该运营商的用户使用，并可以大范围区域提供服务。另外，Home eNB 通常给几十米半径的小区域提供服务并使用低输出功率。HeNB 的目标是：企业能够对于那些想要给任何用户或一组具体的用户，或想要在像自己家里那样的小区域内使用无线连接服务的住宅用户提供无线连接服务。允许接入 HeNB 的用户组称为闭合用户组（CSG），属于 HeNB 的小区称为 CSG 小区。甚至可以在 Macro eNBs 的覆盖下调用 HeNB，如图 7.1 所描述。

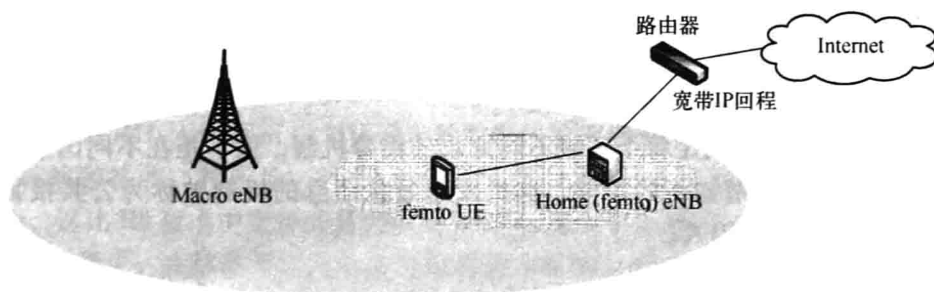


图 7-1　HeNB 部署

HeNBs 的基本功能已经添加到各个版本的 LTE 规范中。对于 R8 版本的 HeNB 规范，只有极其重要和基本的功能才被支持，因此 HeNB 可以给闭合用户组提供优先服务。换句话说，对于 R8 版本的 HeNB 功能，只有 RRC_IDLE 移动性被支持。对于属于 CSG 的用户在 RRC_ IDLE 中的表现方式在这个版本中被定义。R9 版本的 HeNB 规范中包含了对 RRC_CONNECTED 移动性的支持。因此，这个版本的 UE 不需要使用 RRC 连接就可以从一个 Macro eNB 的小区转移到一个 HeNB 的小区。

基本而言，UEs 接入的 CSG 小区属于 CSG。然而，CSG 小区有时候允许不属于该 CSG 的 UEs 接入。比如，一个在 Macro eNBs 小区覆盖的边缘区域，或者在 Macro eNBs 提供的容量不能够满足需求的区域，CSG 小区被调用。在这种情况下，如果一个 CSG

小区可以用来服务不属于 CSG 的 UE，那么这个 CSG 小区可以增加运营商的服务区域或者可以卸载 Macro eNB 上的压力。因此，从 R9 版本开始，CSG 小区可以给不属于 CSG 成员的 UE 提供服务。

当很多 CSG 小区以一种不协调的方式被调用时，类似小区间的干扰和对测量性能的影响等问题将会增多。在 3GPP 中正致力于减轻这些问题。

7.3 公共警报系统

日本是一个地震、海啸等灾难频繁对社会造成巨大危害的国家。为了将这些灾难的损失降低到最小，能够拥有一个尽可能发送给人类紧急信息的系统非常重要。为了达到这个目的，日本政府需要移动无线系统发送关于紧急和重要事件的信息。为了支持这种需求，在 R8 版本中包含了一种称为地震海啸警报系统（Earthquake and Tsunami Warning System，ETWS）的功能。有了这个功能，关于地震和海啸的信息可以在 4s 内发送给 UEs。

另一方面，美国政府承担了对不同紧急情况通知的责任。美国联邦通信委员会（Federal Communication Commission，FCC）的目的是通过无线网络的使用使居民保持对儿童绑架、恐怖袭击、或者是极端天气等紧急事件的预警。为了满足这种需求，R9 版本的规范包含了商业移动预警服务（Commercial Mobile Alert Service，CMAS）这种功能。

另外，韩国政府对国家应急管理机构（National Emergency Management Agency，NEMA）提出了类似的要求。这些要求将会是新 R10 版本功能的基础，称为韩国公共警报系统（Korean Public Alert System，KPAS）。

最好是有一类可以满足每个区域不同需求的报警机制，而不是在不同国家对报警系统提出新的需求时增加新的功能。这类发送紧急信息的机制被称为公共报警系统（PWS），在 R9 版本中引入。

7.4 多媒体广播多播服务

如同任何一种商业模式，移动运营商除了提供诸如语音服务和因特网服务等基本服务外还在寻找新的商业机会。随着支持多媒体手机的数量增长，运营商将多播和广播服务视为一种有潜力的商业领域。为了满足运营商的需求，提供多播和广播服务，例如移动无线网络的移动 TV 服务，在 R6 版本的 UMTS 规范中引入了一种称为多媒体广播服务/多播服务（MBMS）的新功能。在 LTE 的初始阶段，计划在 R8 版本中包含 MBMS。然而，完成 R8 版本规范的日程太短了导致 MBMS 功能一直延迟到 R9 版本中。

图 7.2 描述了 MBMS 网络结构。

对于无线接口的 MBMS 内容发送，使用 MBMS 单频网技术（MBMS over Single Fre-

quency Networks，MBSFN）将相同的数据同时传送给多个小区。一个多播信道（Multicast Channel，MCH）被用来发送 MBMS 数据和 MBMS 控制信息的传输信道。

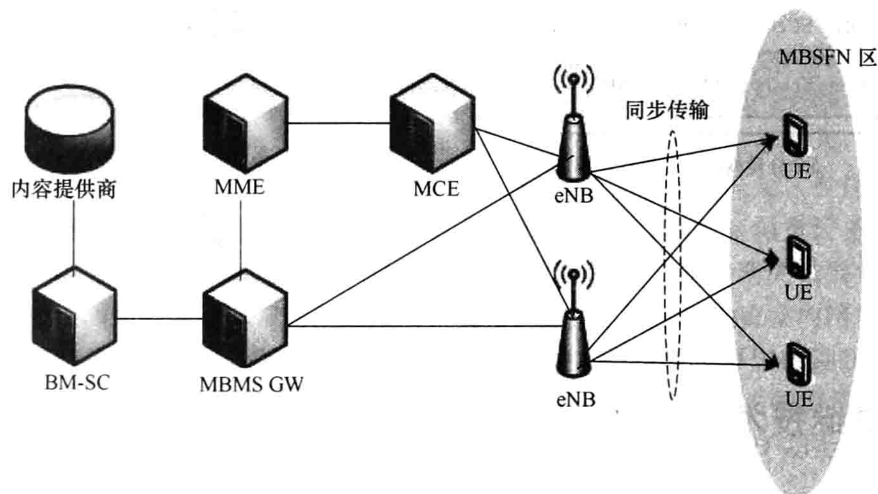


图 7.2　MBMS 结构和传输

在 R10 版本的规范中，为了增加无线资源的利用效率，包含了用来找到想要 MBMS 服务的 UE 数量的 MBMS 计数机制。在 R11 版本中，即使 UE 在整个小区移动，正在进行的工作是 MBMS 服务的连续性。

7.5　载波聚合

为了满足 IMT-Advanced 中 ITU 设定的数据传输速率需求，不可避免地需要支持对宽带上传输和接收。相应地，3GPP 已经为 LTE-Advanced 设置可支持的目标带宽为 100MHz，这比 R8 版本中支持的最大带宽 20MHz 宽多了。然而，因为在低频率范围内的频谱资源稀少，在移动无线网络中分配连续 100 MHz 的带宽是不容易的。因此，引入一种称为载波聚合（CA）的功能。顾名思义，当使用 CA 的时候，同时使用多个载波以提供达 100MHz 的更宽的传输带宽，如图 7.3 所示。

因为一个小区是由上行和下行载波组成的，所以载波聚合也被称为小区聚合。在 CA 中，一个 UE 可以配置成拥有一个称为 PCell 的基本小区，也可以拥有多达 4 个称为 SCells 的辅助小区。PCell 提供对 UE 的基本控制，如 RRC 连接管理、无线承载管理、移动性管理、安全性管理等。SCell 作为 UE 的附加无线资源，它的添加和移除取决于业务量。

对于 R10 版本中的 CA，用于上行链路配置的载波属于同一频带。然而，对于 R11 版本的 CA，这种限制就被取消了。因此，R11 版本的 CA 需要对多个上行链路的时间进行管理。

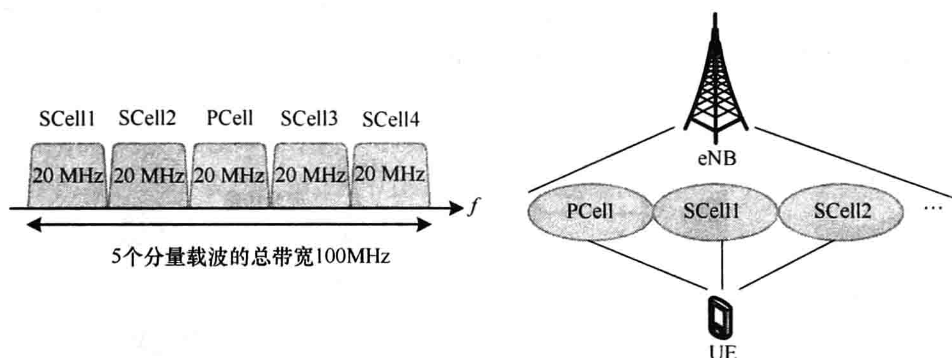


图7.3 载波聚合

7.6 中继技术

通过使用一个称为中继节点（Relay Node，RN）的附加网络节点，中继技术使小区覆盖范围扩展成为可能。置于eNB和UE之间，RN中继数据从UE传到eNB，反之亦然。除了CA外，Relay被视为LTE-Advanced引入的关键技术。

在RN功能标准化期间，关于RN应该支持的协议层有广泛的讨论。最终决定RN将配置所有的无线协议层，这意味着中继在IP数据包一级执行。另外RN和eNB之间的通信频率可以是相同，也可以跟UE和RN之间使用的频率不同。

在覆盖范围下，RN对UE来说扮演eNB的角色。对于扮演eNB角色的RN，RN应该和一个eNB相连接。服务于RN的eNB称为施主（Donor eNB，DeNB）。RN与DeNB之间的回程链路被称为Un接口。图7.4展示了支持RN的简化的网络体系结构。

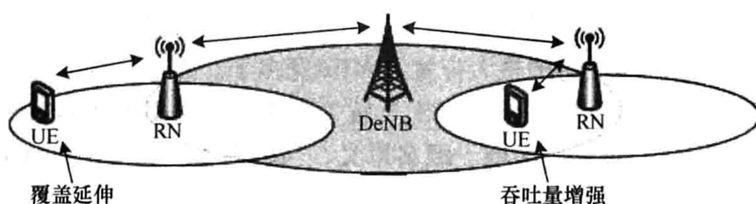


图7.4 中继

对于运营商来说，调用RN代替eNB是一种吸引人的选择，因为RN调用比eNB调用费用更低。因为RN可以很容易被放置并且不需要任何一种固定的线路连接，所以运营商可以安装一个CAPEX（Capital Expenditure）更低的RN并且以更低的OPEX（Operating Expenditure）运行。比如，对于一个暂时需要附加容量的热点区域或一个不能调用HeNB的区域，这时，RN可以容易地使用。

对于R10版本的规范，功能被限制到一个固定的单跳RN。在未来的版本中，这个限制将被删除。

7.7 最小化路测

当运营商为自己的网络安装了一种新的设备时，它需要证实这个设备将会如期工作。比如，运营商需要检查由新设备提供的小区覆盖范围十分充足。另外，运营商也需要通过对网络设置参数的调整使网络性能达到最优。为了满足这些需求，运营商需要进行实际的测量来了解网络是否可用或可靠，提供的容量是否充足，提供的 QoS 在延伸覆盖区域每个点是否合适。为了进行这些测量，运营商在装有测量设备的车辆经过网络覆盖的每个角落的地方进行路测。路测是网络运营过程中至关重要的一部分。然而，手动路测需要花费运营商巨大的操作费用，并且它不能够检查室内网络覆盖。

随着路测的最小化（MDT），运营商在不执行手工路测时也可以得到很多测量结果。因为 UE 在周围移动，如果 UE 在沿着它移动的路径上执行相关的测量，来自 UE 的测量结果对网络优化进程来说就可以是有价值的输入。因此，MDT 功能定义了什么时候应该进行 UE 测量和报告，以使运营商执行最小化手工路测。

在 R10 版本规范中，包含了实现检测覆盖孔的覆盖优化的 MDT 功能。在 R11 版本规范中，致力于支持 QoS 认证方案，用来检查所需的 QoS 是否正在提供给 UE。

7.8 增强型小区间干扰协调

异构网络是一个 Pico 小区和 Femto 小区的覆盖范围和某个地理范围内的宏小区的覆盖范围重叠的网络。在那个区域里，如果 Pico 小区和 Femto 小区使用和宏小区相同的频率，将会出现非常大的干扰，如图 7.5 所示。

比如，对于一个 Pico 小区来说，由 Pico 小区提供服务的 UE 可能遭受到来自宏小区的巨大的干扰，有时也会遇到 RRC 连接失败。为了防止 RRC 连接失败，Pico 小区应部署在一个相对小的覆盖区域内。对于一个 Femto 小区，UE 被连接到一个宏小区上而不是一个 Femto 小区上，因为 UE 不是 CSG 的一个成员。在这种情况下，由宏小区提供服务的 UE 可能经历来自 Femto 小区的巨大干扰。Femto 小区的覆盖区域可能被非成员 UE 视为一个覆盖孔。防止这些问题发生的一个简单的解决方法是给 pico 小区和 Femto 小区分配不同的频率。然而，这种解决方法不具有可选择性，因为频率资源是非常昂贵的。

对于 R10 版本规范，为增强型小区间干扰协调（eICIC）引入了两种机制。第一种是基于 CA 的 ICIC（CA-based ICIC），第二种是时间域的 ICIC（time domin ICIC）。

在基于 CA 的 ICIC 机制中，跨载波调度方法可以缓和 PDCCH（物理下行控制信道）干扰。换句话说，当多个载波可操作时，一些载波可能在 PDCCH 上遇到极其严重的小区间干扰，其他载波可能就遇不到。不管在哪种情况下，具有更少干扰的载波的 PDCCH 用于具有严重干扰的载波的数据调整。

在时间域 ICIC 机制中，对其他小区造成显著干扰的入侵小区在一些副帧中不使用 PDCCH，这被称为几乎空白子帧（Almost Blank Subframes，ABS）。因为在那些副帧中

入侵小区的干扰减轻了，受到强干扰的小区就能够调整在那些 ABS 的 UE，否则它们将遭受来自入侵小区的极大的干扰。

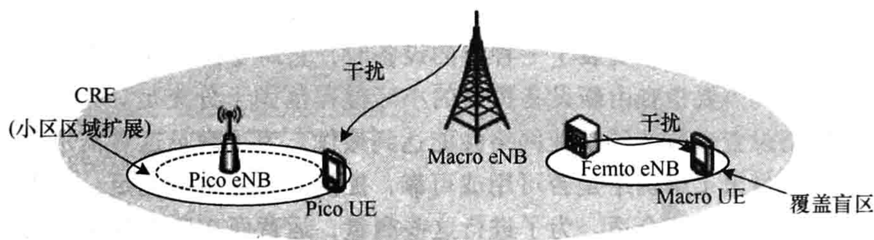


图 7.5 异构网络场景

7.9 机器模式通信

在一种新的通信方案下，大量的设备互相作用，被称为机器到机器（Machine-to-Machine，M2M）通信，这正得到通信行业广泛的关注。这是因为 M2M 中使用的通信设备的数量有望超过人到人（Human-to-Human，H2H）通信的数量。为了使 LTE 对 M2M 形成竞争力，在机器模式通信（MTC）的功能名称下，3GPP 已经在 R10 版本中开始研究 M2M。

尽管有 M2M 的几个使用案例，3GPP 已经限制 MTC 功能范围到 3 种情况：智能计量、道路安全和电子产品消费。智能计量报道设备自动收集关于能源消耗或客户现场供给质量的数据场景，并将结果报告给以监控和计费为目的的公共事业公司。道路安全报道设备自动记录事故或碰撞的场景并将重要信息报告，如事件发生的位置。电子产品消费涉及设备通过自动连接为用户提供的服务。

对无线协议来说，MTC 功能的主要挑战被认为是超载控制，因为大量的设备可能在同一时间建立 RRC 连接。因此，R10 版本中将严肃对待来自设备的分散的同时访问。R11 版本中为了使网络能够有选择性地防止来自设备的访问，这项工作仍在继续。

第8章　基于LTE网络的语音呼叫

在移动业务中，对于大部分的移动运营商，电话服务是主要的收入来源。即使有了扩展功能很多的智能手机，语音服务仍然被用户认为是重要的。保持支持基于LTE网络的语音服务对于LTE能否取得成功，至关重要。

8.1　LTE语音解决方案

8.1.1　终极语音解决方案

IP的开放结构创造了灵活性，这种灵活性使基于因特网的蓬勃发展的多媒体服务成为可能。为了整合移动接入与IP多媒体服务，3GPP定义了一个架构框架，称为IP多媒体子系统（IMS），提供基于3GPP系统的IP的多媒体服务。IMS在3GPP中取得的成功，激发了同业中的其他组织如3GPP2，采用IMS作为IP多媒体服务的架构框架。IMS还支持与有线网络的整合，创造了固定与移动融合的潜力。

移动产业由于IMS标准的成功得到了有力的推动，IMS架构的丰富性和灵活性提供了一个可靠的框架，这个框架使多种多样的多媒体服务包括语音服务的服务质量得到了保证。IMS被主要的运营商认为是提供基于LTE网络的语音服务的终极架构。图8.1阐明了这么一个概念，LTE网络部署的IMS架构基础上的语音服务。为方便起见，在下文中，基于IMS体系结构的语音服务简称为“IMS VoIP”。

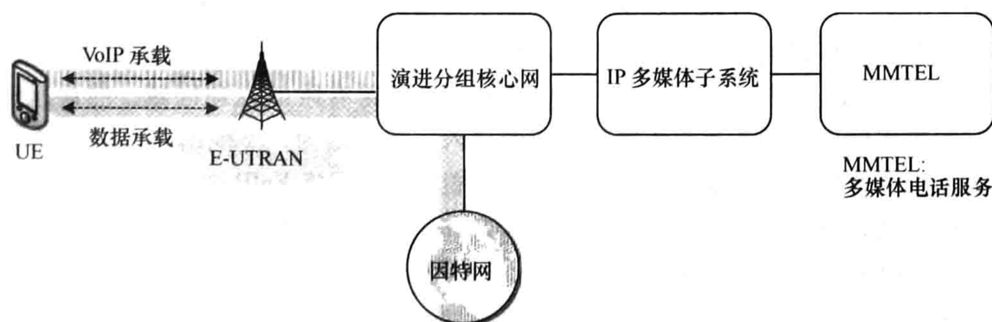


图8.1　通过LTE网络的IMS VoIP概念

为了尽量减少IMS VoIP的实施方案，行业内通过建立“同一个声音”合作倡议，于2009年11月定义了IMS VoIP的统一解决方案。该合作倡议产生了“同一个声音，基于IMS配置的一个声音”，获得一种最小的必须包含IMS和其他特征的集合，其中其他特征用于UE和网络以支持语音和其他服务，例如，短消息服务（Short Message Serv-

ice，SMS）。一个声音的工作得到了 GSMA 的强烈支持，并由“GSMA VoLTE Initiative”吸收，“GSMA VoLTE Initiative”的建立是为了改进统一的基于 LTE 的语音服务。GSMA VoLTE Initiative 颁布了一个官方文件（IR. 92），这个文件定义了对于语音和 SMS 的 IMS 配置。

8.1.2 临时语音解决方案

由当今 IP 融合蓬勃发展的趋势，有人预测，在不久的将来，IMS VoIP 将普遍用于有线网络和无线网络，包括 LTE。

尽管 LTE 系统 [演进的通用陆地无线接入网络（E-UTRAN）] 和演进型分组核心网（EPC）只支持 IP 包交换（Packet-Switched，PS），而 IMS VoIP 解决方案是整个行业内公认的语音服务处理方案，但这个行业无法仅依靠于 IMS VoIP 解决方案。

如今还存在那些传统网络和只能在传统网络中使用传统解决方案的传统移动设备（如 CS 语音电话商），先进的 LTE 无法在一天之内大规模取代传统网络。考虑到早已在传统网络上的巨大投入，一些运营商也不愿急于将他们的传统网络改进到 LTE 网络。一般地，不同的运营商将采取差异性很大的网络演进策略，这种做法将导致在相当长的一段时间内，LTE 和传统网络将在一个复杂的环境里共存。尽管这是一个基本要求，网络和语音电话服务质量之间的服务连贯性需要保证，LTE 网络和传统网络之间的根本区别成为满足这个基本要求的挑战。

漫游的情况进一步增加了 LTE 网络演进的轨迹上只支持 IMP VoIP 的复杂性。例如，在本地 LTE 网络仅支持 IMS VoIP 是可行的，但对于不支持 IMP VoIP 的访问网络和传统网络来说，是不可行的。

根据不同的 IMS 部署，在目标市场中，IMS 基础设施和支持 IMS 的 UE 的广泛推广可能花费的时间更不相同。但是，LTE 部署不应该被延迟，除非在 IMS 部分在所有服务区域完成后，因为 LTE 网络在部署的早期阶段很可能只用于提高数据服务。

即使 IMS 基础设施和（或）拥有 IMS VoIP 功能的用户设备（UE）已广泛推广，一个运营商的 LTE 网络在早期 LTE 部署中可能只覆盖有限的地理区域，然而，传统 2G/3G 覆盖将能提供所有运营商覆盖区域的接入。这是因为，不能因为 LTE 覆盖能力不足而停止语音服务，所以如何处理在 LTE 覆盖边界的 IMS VoIP 这个问题需要解决。

简而言之，应当理解，仅支持一个简单的语音解决方案如 IMS VoIP 对于实际情况而已是不足够的，在 IMS VoIP 解决方案在全球规模成熟之前还是需要使用额外的临时解决方案的。

移动行业和标准团队考虑了如下的临时解决方案：电路交换回退（CSFB）和 LTE 基础上的语音通用接入（Voice over LTE via Generic Access，VoLGA）。

图 8.2 说明了 CSFB 和 VoLGA。CSFB 是标准解决方案，它提供了一个基于现存 2G/3G 电路交换网络的语音服务。CSFB 的原则是，UE 通常在 LTE 上运行，当进行语音服务时，它将跳转到一个 2G/3G 网络。CSFB 被许多运营商支持，因此它对传统 2G/3G 网络的改变要求最少，它很符合运营商的经营策略——2G/3G 系统仍然提供语音服

务，LTE 系统将在 LTE 部署的早期只提供数据服务。

另一个提出的解决方案是 VoLGA，它扩展了现存通用接入网络（Generic Access Network，GAN），使其支持 LTE 网络基础上的语音服务。GAN 初始设计通过支持 3GPP 无线接口和 Wi-Fi 无线接口来向 UE 提供移动服务。GAN 网关提供一个安全连接，通过 Wi-Fi 接入网络向用户提供电路交换服务。VoLGA 概念的关键是在 GAN 框架中与一个 LTE 接入网络一起替代 Wi-Fi 接入网络。VoLGA 并未获得太多移动行业和标准组织的支持。

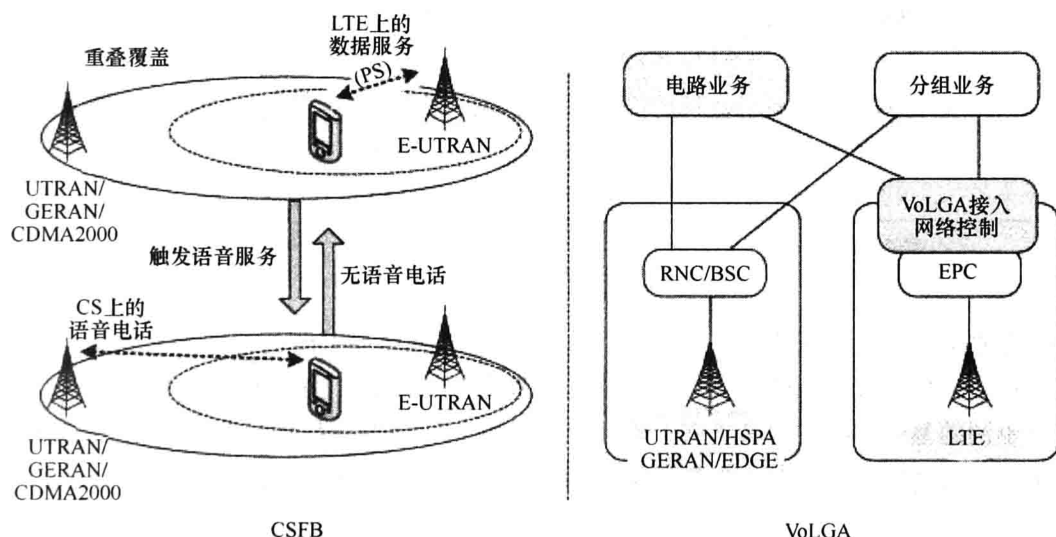


图 8.2　CSFB 和 VoLGA

8.2　IMS VoIP

IP 多媒体子系统（IMS）是一个标准化的体系结构框架，用于提供基于 IP 的服务。IMS 支持 IP 多媒体应用，包括语音，短信，视频，会议和混合的多媒体服务。以下是将 IMS 框架用于语音服务的优点：

1）确保更少互操作问题的全球漫游；

2）在语音电话持续时，LTE 更好的性能表现；

3）容易提供高清晰度的语音服务；

4）成熟地提供视频、会议、数据等混合服务

IMS 要求新的 IMS 专用网络元素作为专用核心网络架构的一部分。图 8.3 说明了基于 3GPP 网络的 IMS VoIP 的概念。值得注意的是，请注意，IMS VoIP 也容纳 3GPP2 网络，这是为了简单起见，在图中未示出。

8.2.1　IMS 配置

即使 IMS 能实现丰富的多媒体服务，包括基于 IP 网络上的语音服务，首次发布的

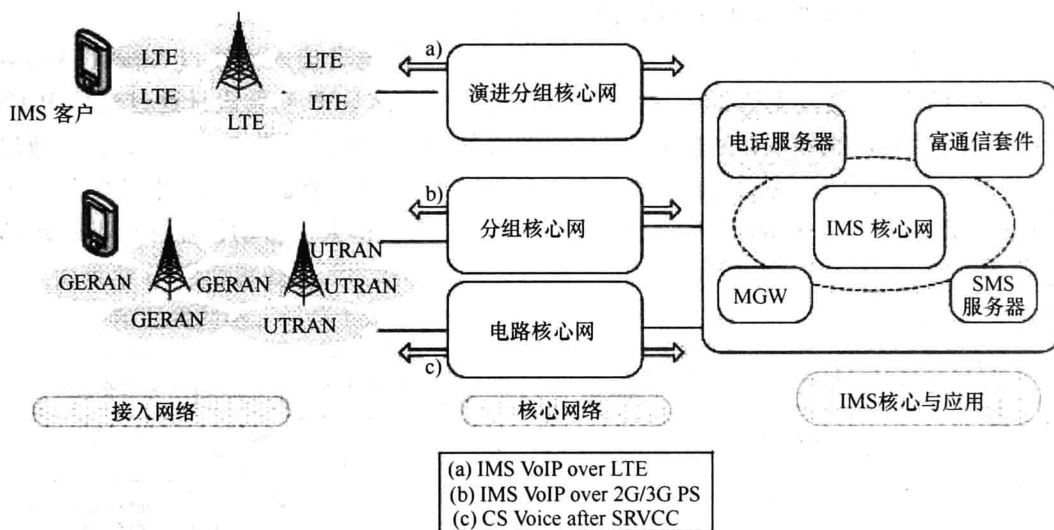


图 8.3　IMS VoIP 概念

IMS 仍被许多运营商推迟使用。IMS 部署延期的主要原因是 IMS 的框架非常复杂，这是因为许多框架的选择将依据目标服务和尚在考虑之中的接入/核心网络。如果运营商实施了不同的基于 IMS 的语音方案，它不可能避免 LTE 市场分割和互操作性问题的风险。这也将导致这样一种情况，在基于运营商采用的解决方案中，用户漫游的机会受到一定的限制。

8.2.1.1　一个声音计划

面对实际存在的分散的 IMS 部署威胁，移动行业意识到全行业内统一的解决方案的重要性，它能促进 IMS 基础上的语音服务的一个可实现的生态环境，并享受规模经济的好处。引入一个 IMS VoIP 统一标准解决方案的原则对于保证用户的无缝全球漫游体验也是很重要的。在全球工作标准解决方案的必要性的驱使下，2009 年 11 月，业内启动了“一个声音计划”。

为了布建基于 LTE 网络的语音服务和 SMS，一个声音计划通过了由 3GPP 定义的 IMS 架构。随着加速配置一个 IMS-based VoIP 服务的统一标准的目标，一个声音计划建立了“一个声音配置”。顾名思义，“一”表明，其目标是，定义一个而不是多个单独的配置文件的 IMS VoIP 服务，通过定义一个实际解决方案以减少 IOT 负担和实际费用。“一个声音配置”定义了一个最小的强制性功能，它由 UE 和网络实现，以支持基于 3GPP 标准下，在 LTE 上的目标 IMS 服务。

8.2.1.2　用于语音和 SMS 的 IMS 配置

在 2010 年 2 月，GSMA VoLTE 计划在许多公司和组织的支持下建立，以提高 LTE 上的语音和短信服务。支持 GSMA VoLTE 的公司是针对下一代移动网络统一 IMS 基础上语音服务解决方案的支持者。一个声音计划的工作成果被 GSMA VoLTE 计划吸收，作为进一步工作的基础。

GSMA 公布的"针对语音和 SMS 的 IMS 配置"，定义了一个基于 3GPP 标准关于 UE 和网络的专用于一个最小强制性功能。IMS 配置被用来为通过 LTE 无线接口的 IMS 基础上的电话服务建立一个纯净的环境，以保证高质量和互操作性。图 8.4 展示了关于"针对语音和 SMS 的 IMS 配置"协议栈。

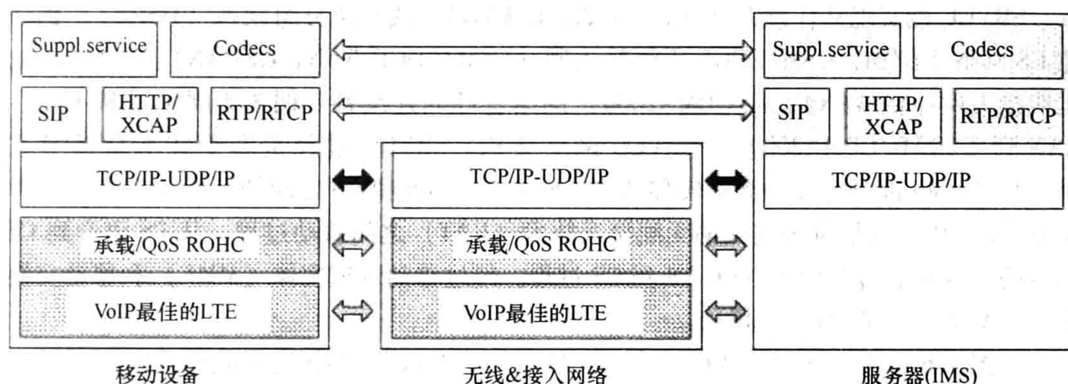


图 8.4　语音中 IMS 压缩的协议栈

"针对语音和 SMS 的 IMS 配置"的关键成分总结如下：

1）IMS 核心网络与电话应用服务器（Telephony Application Server，TAS）；

2）UE 中的 IMS 客户端功能；

3）为 IMS VoIP 覆盖扩展而支持双模单待无线语音呼叫连续性（SRVCC）；

4）针对 VoIP 支持的 AS 特性。

IMS VoIP 和 IMS VoIP 呼叫过程要求的通用 IMS 功能超出了本书的范围。

SRVCC 实现了从分组交换（Packet Switching，PS）到电路交换（CS）的 IMS 语音会话。因为 PS 覆盖限制，当通过 PS 传输的 IMS 语音服务无法实现时，SRVCC 对于提高完善的语音服务是非常有用的。

用于 VoIP 功能支持的优化的 AS 特性包括鲁棒性报头压缩（ROHC）、传输时间间隔（TTI）资源块绑定和半持续调度（SPS）。

8.2.1.3　用于"针对语音和 SMS 的 IMS 配置"的承载特征

根据配置，用于语音服务的演进型分组系统（EPS）承载被配置作为一个保证比特率（GBR）承载与设置为 1 的 QoS 类别标识符（QCI）的值。用于语音服务的无线承载与非确认模式（UM）下无线链路控制（RLC）一起配置，以减少允许少量语音数据丢失时的开销。

8.2.2　双模单待无线语音呼叫连续性

SRVCC 为 UE 提供了一个从 PS 网络的 IMS VoIP 到 CS 网络的 CS 语音的语音呼叫的连续性，使 UE 支持在同一时间只有一个无线电波发送/接收语音。SRVCC 有一个覆盖有限区域的包交换网络和覆盖整个服务区域的电路交换网络，这对于运营商是非常有用的。一种 SRVCC 目标情形是在 LTE 网络中配置了一个离开 LTE 覆盖范围无线承载的

UE，进入到 CS 覆盖范围。在这种情况下，为了保证离开 LTE 覆盖范围的语音呼叫连续性，停留在 IMS 的语音数据流量会从 LTE 网络传输到 CS 网络。SRVCC 允许运营商逐步将他们的 2G/3G 网络逐渐升级到 LTE 网络，而不是一次性用 LTE 网络替换他们原来的网络。

SRVCC 能实现从任意 PS 网络［例如，E-UTRAN 或高速分组接入（HSPA）］到任意 CS 网络［例如，GSM/EDGE 无线接入网（GSM/EDGE RAN，GERAN）］，全球陆地无线接入网（UTRAN），或 CDMA2000）的语音呼叫连续性。图 8.5 展示了从 E-UTRAN 到 UTRAB/CDMA2000 的 SRVCC 网络架构。SRVCC 过程是基于在本章参考文献［1］中 IMS 部分定义的会话转移功能，Sv 是为了 PS 和 CS 之间的互联和在本章参考文献［2］中接入层部分定义的无线接入技术（RAT）之间移动过程。从 PS 语音到 CS 语音的切换是通过利用 SRVCC PS 到 CS 过程，经过移动管理实体（MME）和移动交换中心（MSC）服务器的 Sv 接口。

在图 8.6 描述了通过 SRVCC 从一个 PS 网络到 CS 网络的语音承载的重定位。

从 E-UTRAN 到 UTRAN/GERAN 的 SRVCC 在第 8 版之后就得到了支持。在相反方向对语音连续性的支持，即，从 UTRAN/GERAN 到 E-UTRAN 的 SRVCC 将会在第 11 版中被支持。

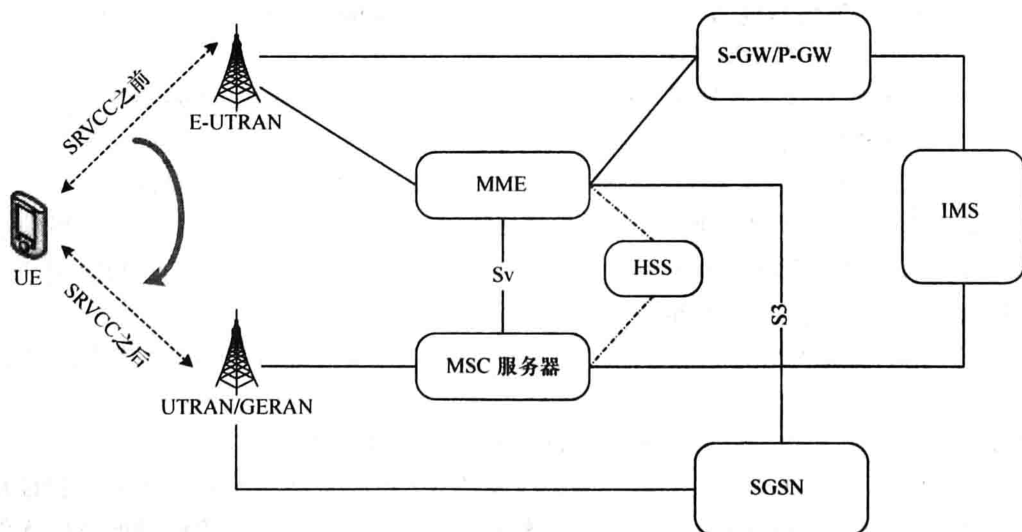


图 8.5 用于 SRVCC 的网络架构

图 8.7 展示了一个从 E-UTRAN 到 UTRAN 的 SRVCC 过程的简单说明。一个 UE 的 SRVCC 能力表明，在一个 NAS 过程，如附着过程或跟踪区域更新过程中，它的 SRVCC 能力是 UE 能力信息的一部分。如果 UE 和 MME 都支持 SRVCC，在通过 S1 接口对 UE 进行上下文环境初始建立时，MME 向 eNB 表明支持 SRVCC。

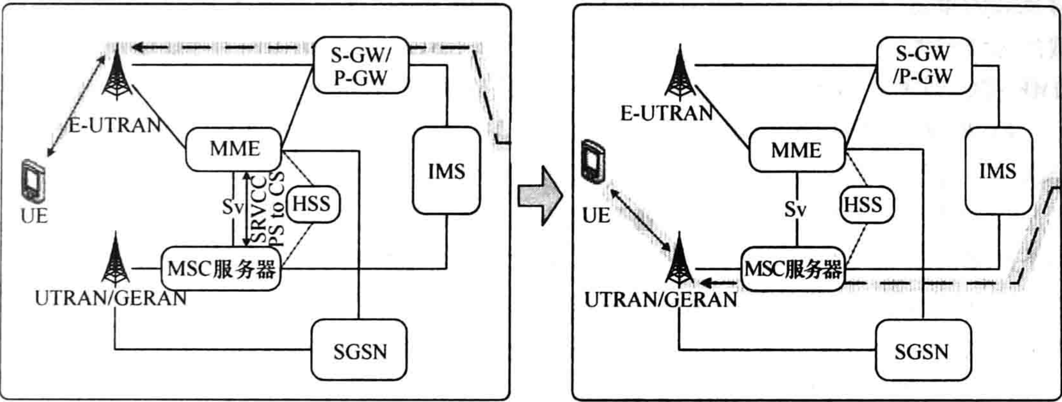


图 8.6　SRVCC 前后的语音路径

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

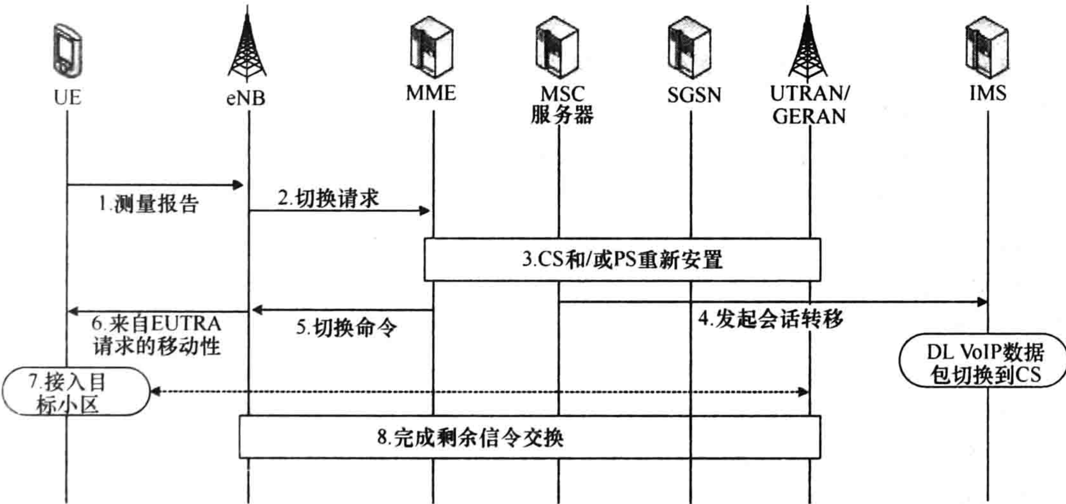


图 8.7　从 E-UTRAN 到 UTRAN/GERAN 的 SRVCC 切换

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

1）步骤 1：UE 向它的服务小区发送一个 MeasurementReport 消息，包括其他 RAT 测量结果。

2）步骤 2：当 eNB 接收到 MeasurementReport 消息时，根据是否建立了任何 QCI 设置为 1 的语音承载，决定是否触发 SRVCC。如果 SRVCC 被触发，eNB 通过向 MME 发送包括 SRVCC 切换通知的切换请求，向 MME 请求 SRVCC 切换。

3）步骤 3：MME 接收到 SRVCC 切换通知时，将语音承载从其他非语音承载中分离。然后，MME 向 MSC 服务器和业务 GPRS 支撑节点（SGSN）分别开始语音和非语

言承载的重定位。重定位的细节能在本章参考文献［3］找到。在这个步骤中，这些承载的无线资源通过目标小区的无线网络控制器（RNC）分配给 UE。当重定位完成时，MME 接收到来自 MSC 服务器和 SGSN 的重定位确认。

4）步骤4：当 MSC 服务器接收到步骤3中来自目标 MSC 的关于语音承载的重定位确认时，开始向 IMS 进行会话转移。这个步骤在步骤3进行时开始。

5）步骤5：当 MME 接收到语音和非语言承载的重定位请求确认时，它向 eNB 发送一个切换命令。这个切换命令包含在步骤3中来自 SGSN 和 MSC 服务器的信息。

6）步骤6：当 eNB 接收到切换命令时，它向 UE 发送一条 MobilityFromEUTRACommand 消息。

7）步骤7：当 UE 接收到 MobilityFromEUTRACommand 时，接入目标小区。

8）步骤8：SRVCC 切换完成的进一步信令被交换，例如，节点间的进一步配置，资源的释放，等等。细节可参见本章参考文献［3］。

8.3 电路交换回退技术

电路交换回退（CSFB）技术是在 R8 版本中定义的一种机制，对于 LTE 网络的 UE 通常驻入 IP 服务，可以通过让 UE 重用现有的 CS 网络启用语音服务。如果将要初始化语音业务时，CSFB 已被占用，UE 就会进行无线转换，从 LTE 转换至一个传统 2G/3G CS 网络，在这些传统网络上可以建立 CS 语音呼叫。CSFB 适用于同时支持 LTE 网络和 CS 网络，诸如 GERAN、UTRAN 和 CDMA2000 1xRTT 的 UE。从网络的角度来看，传统的 CS 网络的覆盖范围比 LTE 更大，因此当 CSFB 初始化后，UE 可以导入到其中一个传统 CS 网络。一般 CSFB 和相关的功能或过程增强架构在本章参考文献［4］中指定。

CSFB 是由一个向 MME 发送特殊非接入层（Non-Access Stratum，NAS）消息的 UE 进行初始化，这个特殊 NAS 消息被称为扩展服务请求。扩展服务请求可能在响应寻呼消息时进行发送，此寻呼消息产生于 CS 域并在移动终止呼叫中通过 MME 传送至 E-UTRAN。在收到针对 CSFB 的扩展服务请求后，MME 要求 eNB 触发 RAT 间迁移过程。CSFB 过程的详细信息会在下面章节中解释。适用于 CSFB 的 RAT 间迁移过程包括重定向、切换和小区变更命令。

1）重定向：重定向过程可以通过 eNB 发送一个包含重定向信息（见3.12节）的 RRCConnectionRelease 消息来执行。重定向信息指明了 UE 需要移动到的 RAT/频域。在收到重定向信息后，UE 释放和 E-UTRAN 的 RRC 连接，接着进行小区选择，驻入在由 RAT/频域指定的小区，然后和选择的小区进行连接。重定向过程适用于 CSFB 到 GERAN、UTRAN 和 CDMA2000 1xRTT。

2）切换：切换至另一个 RAT 是由 eNB 执行的，该 eNB 把 MobilityFromEUTRACommand 消息作为切换命令。切换命令包括用于目标小区的无线资源配置。如果 UE 收到了切换命令，它就会尝试使用包含在切换命令中的资源配置信息接入目标小区。切换至另外一个 RAT 对 CSFB 到 GERAN、UTRAN 和 CDMA2000 1xRTT 来说都是适用的。如

果针对 CSFB 的 MobilityFromEUTRACommand 消息被发送至 GERAN 或者 UTRAN，它就在 NAS 使用中包含一个 CSFB 指示器用来处理切换失败。

3）小区变更命令：小区变更命令（CCO）也能够被 CSFB 使用。CCO 只应用于 GERAN 网络的 CSFB。CCO 信令通过一个 MobilityFromEUTRACommand 消息发送给 UE，该消息包含与 CCO 有关的信息。

适用于 CSFB 到 UTRAN/GERAN 的移动选项概括在表 8.1 中。

注意在 E-UTRAN 中的 RRC 连接在 CSFB 之后并没有保持。这也就是说，当在传统 RAT 中提供 UE 的语音业务时，IP 服务可能会降低甚至暂停，这取决于传统 RAT 对 IP 业务的支持程度。为了向 UE 提供质量更好的 IP 业务，传统 RAT 可能会在语音服务结束后尽可能快地为 UE 进行 RAT 间迁移至 E-UTRAN。没有为 UE 定义自发的返回 E-UTRAN的操作。

表 8.1　CSFB 到 UTRAN/GERAN 的可能移动性选择

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

No	移动性选择 （有关 RRC 信息）	目标 RAT	版　本	UE 容量
1	重定向（RRCConnectionRelease）	UTRAN	Release8	强制 UE 支持 CSFB 至 UTRAN
2	有系统信息的重定向 （RRCConnectionRelease）	UTRAN	Release9	UE 容量中 e-RedirectionUTRA 的指示
3	重定向（RRCConnectionRelease）	GERAN	Release8	强制 UE 支持 CSFB 至 GERAN
4	有系统信息的重定向 （RRCConnectionRelease）	GERAN	Release9	强制 UE 支持 CSFB 至 GERAN
5	有 DRB 的 PS 切换 （MobilityFromEUTRACommand）	UTRAN	Release8	强制 UE 支持 CSFB 至 UTRAN
6	PS 切换 （MobilityFromEUTRACommand）	GERAN	Release8	UE 容量中 interRAT-PS-HO-TOGERAN 的指示
7	有 NACC 的小区变化顺序 （MobilityFromEUTRACommand）	GERAN	Release8	强制 UE 支持 CSFB 至 GERAN
8	没有 NACC 的小区变化顺序 （MobilityFromEUTRACommand）	GERAN	Release8	强制 UE 支持 CSFB 至 GERAN

相比于传统的 CS 语音呼叫网络内从无到有的建立时间，CSFB 引进了更多的延时来建立语音呼叫，这主要是因为无线转换。在 R9 版本中，增加了一些特性来增强 CSFB。

UE 支持 UTRAN 的 CSFB，UTRAN 支持 UTRA FDD 或者 TDD，并且支持在 UE 的能力信息中带宽列表。UE 支持 GERAN 的 CSFB，并且支持在 UE 的能力信息中带宽列表。

8.3.1 CSFB 到 UTRAN 或 GRAN

8.3.1.1 参考架构

图 8.8 显示了 CSFB 到 UTRAN/GERAN 的网络架构。MME 和 MSC 服务器通过 SG 接口相互连接，并通过它进行信令交换和发送至 LTE 网络的 CS 寻呼消息（形成于 CS 网络的寻呼消息）的传输。

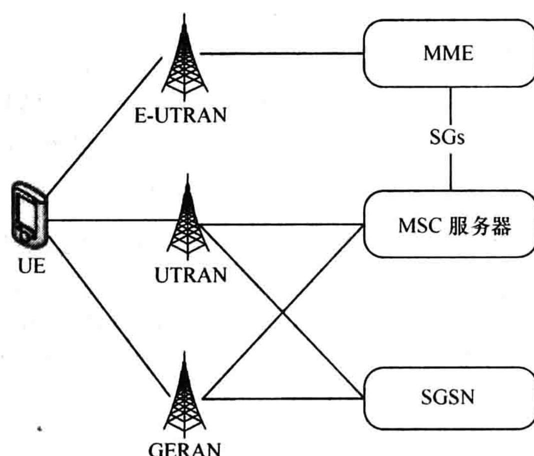


图 8.8 从 CSFB 到 UTRAN/GERAN 的网络架构

8.3.1.2 CSFB 联合注册 LTE 网络和 CS

在 CSFB 中，由于语音业务是通过 2G/3G 的 CS 网络来传输的，UE 首先应当注册 LTE 网络和 2G/3G 的 CS 网络以支持 CSFB，通过一个联合注册的程序而不是分别单独执行两个注册程序，就可以高效地完成注册 LTE 网络和 2G/3G 的 CS 网络。联合注册可以应用于 NAS 层中的附加程序和位置区域更新程序。

关于联合注册，跟踪区和位置/路由区之间的映射是在 MME 中管理的，这使得 MME 能够向 CS 网络中正确的小区触发 CSFB。

8.3.1.3 移动发起呼叫的 CSFB

图 8.9 显示了通过 CSFB 程序移动发起呼叫的简化插图。程序的每个步骤如下所述：

1）步骤 1：如果 UE 在 LTE 中无法使用 IMS VoIP 并且 UE 被连接到 LTE 和 CS 网络，它就会通过向 MME 发送扩展服务请求来触发 CSFB 移动发起呼叫。

2）步骤 2：收到扩展服务请求的 MME 触发 eNB 执行 CSFB 相关的 RAT 间迁移过程，通过使用 S1 接口应用协议（S1 Application Protocol，S1AP）消息，从 E-UTRAN 迁移到 GERAN 或 UTRAN。在这条 S1AP 消息中包括了 CSFB 指示符和 UE 注册的位置区域标识符（Location Area Identity，LAI）。

3）步骤 3：收到消息触发 CSFB 的 eNB 触发了到 GERAN 或 UTRAN 的 RAT 间迁移过程。在进行 RAT 间迁移过程时有很多选择：PS 切换、重定向和小区变更命令。根据

所选的迁移过程，eNB 会为 RAT 间迁移发送相关命令。一个 MobilityFromEUTRACommand 消息被发送至 UE 来进行切换或小区变更命令；包含重定向信息的 RRC 连接释放消息被发送来进行重定向。

4）步骤 4：收到来自 eNB 的 RAT 间迁移命令的 UE 会执行 RAT 间迁移程序。如果 UE 收到了切换命令，它就会使用包含在切换命令中的无线资源配置来同步和接入目标。如果 UE 收到了小区变更命令或者重定向命令，UE 会在 RAT/频率上根据命令指示选择一个适合的小区并尝试接入小区。

5）步骤 5：如果新的呼叫属于和 UE 通常注册的小区不同的位置区域，UE 会向 CS 网络更新位置。

6）步骤 6：如果 RAT 间迁移程序成功，UE 会通过发送连接管理（Connection Management，CM）服务请求继续进行 CS 语音呼叫建立程序。在 R10 版本中，CM 服务请求指明这是由 CSFB 建立的一次呼叫。

7）步骤 7：在需要 PS 切换时，就会进行余下的步骤来完成切换。

图 8.10 给出了由于移动发起 CSFB 呼叫引起的数据和语音路由路径的变化。

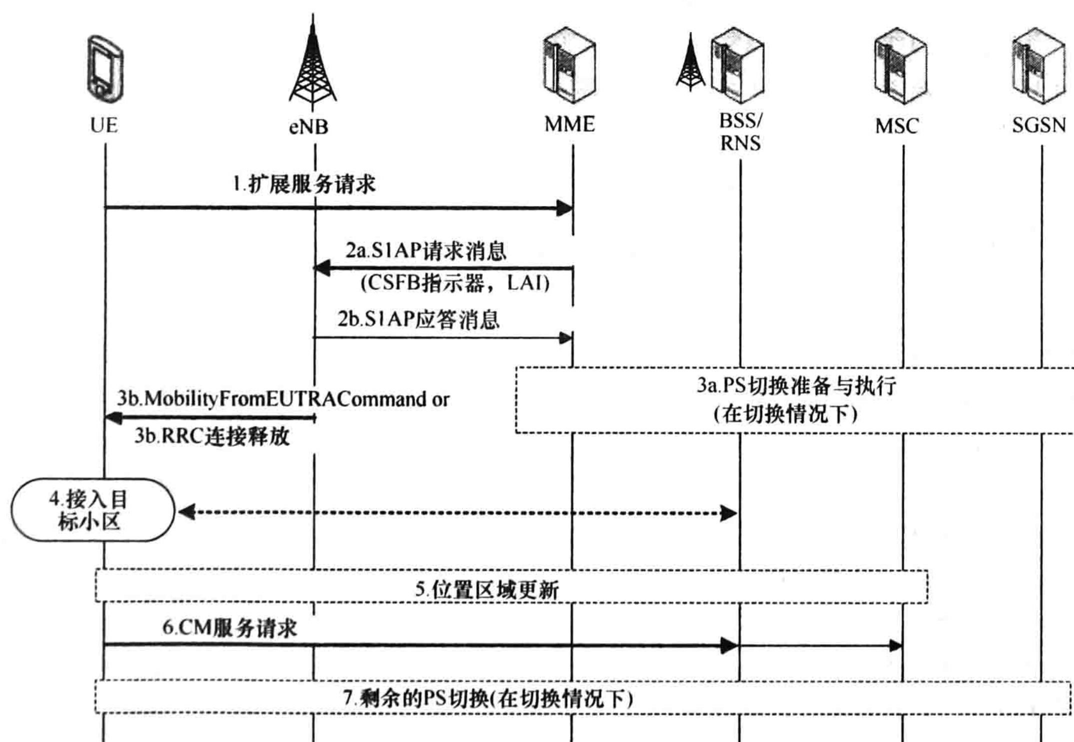


图 8.9　CSFB 到 UTRAN/GERAN 的移动发起呼叫

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

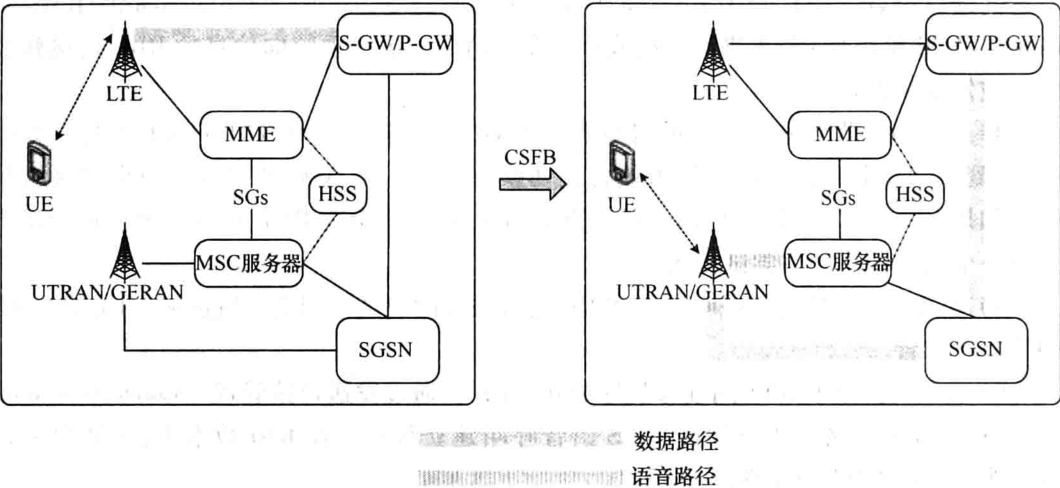


图 8.10 CSFB 呼叫后语音和数据路径的变化

8.3.1.4 移动终止呼叫的 CSFB

CSFB 到 UTRAN/GERAN 的移动终止呼叫程序如图 8.11 所示。在移动终止呼叫中，加入了寻呼程序。和 CSFB 有关的移动终止呼叫由接收即将到来的语音呼叫的 MSC 服务器进行初始化。

1）步骤 1：如果 MSC 收到即将到来的语音呼叫，它就会通过 SG 接口向 MME 发送寻呼请求。MME 在收到来自 MSC 的寻呼请求之后，会对 UE 进行寻呼，除非 UE 被配置为只为 SMS 服务。注意寻呼消息包含被设置为“CS”的 CN 域指示符。

2）步骤 2：UE 收到给它的寻呼消息之后，如果处于 RRC_ IDLE 状态，就会建立 RRC 连接，并且向 MME 为 CSFB 发送扩展服务请求。MME 收到扩展服务请求后，通过 SG 接口向 MSC 发送服务请求。如果 MSC 收到来自经 SG 接口的 MME 服务请求，它就会停止向 MME 发送的重传寻呼请求。

3）步骤 3：MME 接着触发 eNB 为 UE 进行 RAT 间迁移程序，这是通过发送包含 CSFB 指示符和分配给 UE 的 LAI 的 S1AP 消息来完成的。S1AP 消息还包括了 UE 的能力信息以辅助 eNB 移动性处理过程。

4）步骤 4～8：对于剩下的进程，除了步骤 7 外，UE 会进行和图 8.9 所示的近乎相同的过程。此时在步骤 7 中，UE 发送寻呼应答而不是 CM 服务请求。如果 MSC 收到寻呼应答，它就会建立语音呼叫。

8.3.1.5 CSFB 到 GERAN/UTRAN 性能增强技术

在 R8 版本中定义了 CSFB 的基本机制。和仅在 CS 域中发起和终结的不存在无线转换的本地语音通话建立时间相比，CSFB 机制在建立语音呼叫时引进了一些额外的延时。在 CSFB 中有几条原因造成了这样额外的延时：

1）RAT 间测量：如果 CSFB 使用了 PS 切换，为了选择合适的目标小区，UE 可能会被 eNB 要求进行 RAT 间测量和报告。在这种情况下，RAT 间测量程序引入实际

延时。

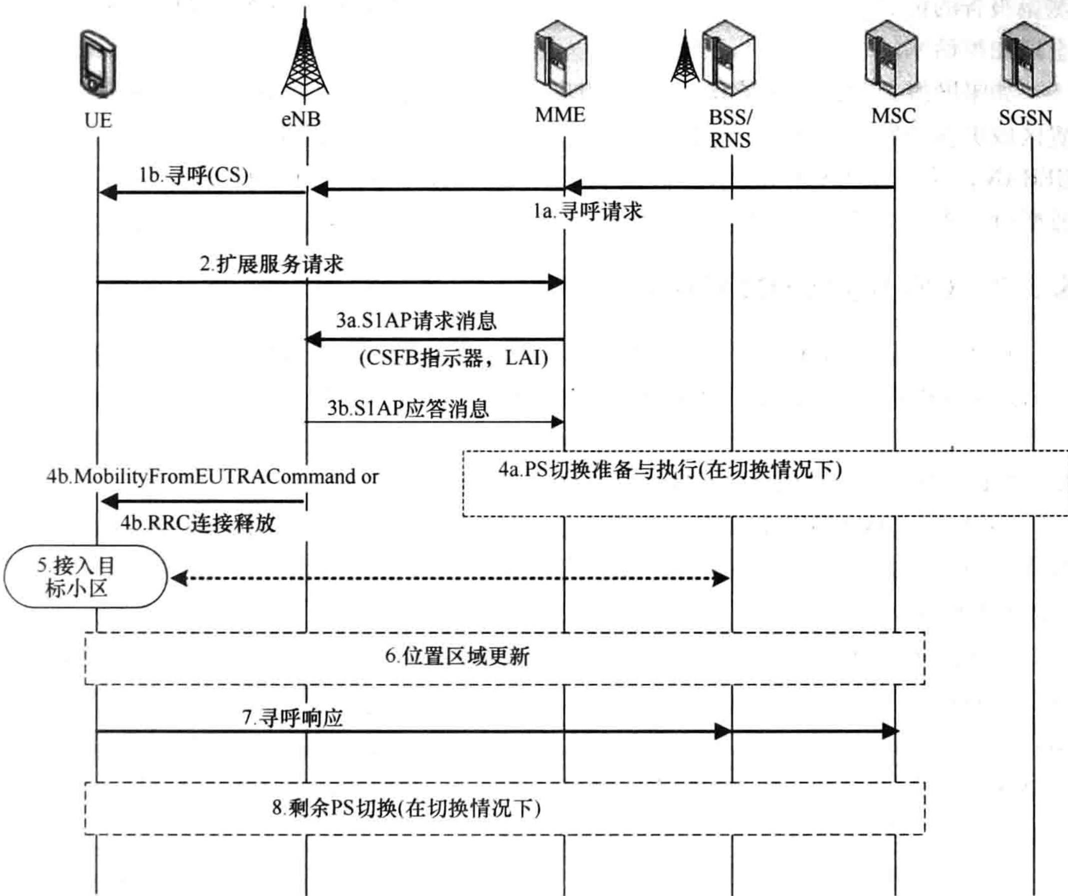


图 8.11　CSFB 到 UTRAN/GERAN 的移动终止呼叫

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

2）RAT 间小区的系统信息获取：如果 CSFB 使用了重定向，UE 需要在 RAT 间搜索一个合适的小区。从 RAT 间选择的小区中，UE 需要从系统信息中获得无线资源配置参数和可访问参数。这需要比较显著的时间来阅读所选小区的系统信息，例如，1～2s 来获得 UTRAN 小区相关系统信息，时间长短取决于无线接口处相关系统信息的调度。

3）RAT 间位置区域的更新：在为 CSFB 执行 RAT 间迁移之后，如果新的小区属于和 UE 中存储不同的 LAI，UE 的 NAS 层需要触发位置区域更新过程。

为了增强 CSFB 程序的性能，R9 版本引入了一种优化的重定向机制，这种机制中 eNB 可以在 RRCConnectionRelease 消息中包含一个或多个（最多 6 个）目标小区的系统信息。UE 可以利用系统信息来加速 CSFB 中的重定向程序，此时系统信息允许 UE 跳过所选小区的系统信息的采集。

关于RAT间测量可能导致的延时，网络可能会进行盲目切换（即在没有来自UE测量报告的情况下）来减少延时。然而，盲目切换可能会减少切换成功率，这反过来会增加掉话率。

如果网络会同跟踪区域和位置/路由区域认真执行使用覆盖技术，在CSFB期间位置区域更新的发生的概率可以最小化。覆盖技术的一个例子是其中E-UTRAN/UTRAN/GERAN的小区覆盖和相应的跟踪/位置/路由区域以以下方式微调：当位置/路由区域改变时，跟踪区域也发生改变。

8.3.2 CSFB到CDMA2000 1xRTT

3GPP还把由3GPP2定义的CDMA2000 1xRTT CS作为CSFB的目标CS域之一，因此通过CSFB到CDMA2000 1xRTT的移动发起呼叫和移动终止呼叫都是R8版本所支持的。

8.3.2.1 CSFB到1xRTT的机制

CSFB到CDMA2000 1xRTT有几种机制，包括1xCSFB、增强1xCSFB（e1xCSFB）、双接收端1xCSFB、双收发器e1xCSFB，这取决于RAT间迁移类型和UE能力。对于到CDMA 1xRTT的CSFB来说，eNB在系统信息的SIB8中提供了1xRTT相关参数。

1）1xCSFB：1xCSFB是R8版本中定义的CSFB到1xRTT的默认机制。在1xCSFB触发的RAT间迁移中使用重定向，即eNB向UE发送包括重定向信息的RRCConnectionRelease message消息，以此来进行E-UTRAN到1xRTT的RAT间迁移。在收到针对1xCSFB的迁移命令后，UE释放RRC连接，离开E-UTRAN，尝试接入1xRTT。如果执行了1xCSFB，EPS承载的IP业务被暂停或取消。

对1xCSFB的网络支持是通过提供E-UTRAN小区的系统信息块8（SystemInformationBlock8，SIB8）中的1xRTT注册参数来指定的。对1xCSFB的支持对于支持CSFB到1xRTT的UE来讲是强制性的。能够进行1xCSFB的UE通过使用SIB8中提供的1xRTT注册参数经LTE网络注册1xRTT。

2）增强1xCSFB：增强1xCSFB（e1xCSFB）是R9版本中定义的1xCSFB增强版本，使得网络向UE提供有目标1xRTT小区分配给UE的无线资源。

UE通过UE容量中的e-CSFB-1XRTT指明e1xCSFB的网络支持。基于该容量信息，当语音业务要初始化时，eNB可以决定为UE执行e1xCSFB。支持1xCSFB的UE根据SIB8中的1xRTT注册参数注册1xRTT。

为了在e1xCSFB之后提供IP业务的连续性，e1xCSFB允许执行并发的PS切换到高速分组数据（High Rate Packet Data，HRPD）的选项。对于具有并发PS切换到HRPD的增强1xCSFB，UE指明了在UE的能力中，它支持并发1xRTT和HRPD到网络。

对于e1xCSFB，eNB向UE发送MobilityFromEUTRACommand消息，这条消息包括1xRTT配置，即1xRTT信道分配消息。如果需要执行并发PS切换到HRPD，来自EUTRA的迁移命令还包括HRPD重定向信息。在收到迁移命令之后，UE通过使用

1xRTT 信道分配信息尝试接入 1xRTT 小区。

3）双接收端 1xCSFB：R9 版本定义的双接收端 1xCSFB 是一种在 UE 支持的情况下利用 UE 的双无线能力的方法。双接收端能力使得 UE 能够同时经 E-UTRAN 和 1xRTT 接收。此时，UE 通常在 E-UTRAN 发送和接收，并注入 1xRTT 中，通过使用 1xRTT 接收能力来执行 1xRTT 休眠模式操作。

值得注意的是，注册到 1xRTT 是直接经过 1xRTT 而无需信令通过 LTE 网络来完成的。这意味着在双接收端 1xCSFB 中可以更简单地实现，这是因为，为实现 1xRTT 注册的 1xRTT 和 LTE 网络之间的协作是不必要的。当 UE 需要离开 E-UTRAN 而注册到 1xRTT 时，和通常的 CSFB MT/MO 相似，UE 需要向 MME 发送扩展服务请求，这会导致到 eNB 的 RRC 连接和到 S-GW 的 S1-U 承载的释放。

到 1xRTT 的迁移是由 RRC 连接释放程序来执行的。RRC 连接释放消息并不包括重定向信息，因为 UE 在使用 CDMA2000 无线接收端注册到 1xRTT 之后已经定位到 1xRTT。应当注意使用双接收端 1xCSFB 时，UE 电池损耗将会更高，这是因为 E-UTRAN 和 1xRTT 无线电都要保持运行状态。

表 8.2　1xCSFB 可能的移动选择

No	移动选项（相关 RRC 消息）	Tx/Rx	版　本	UE 容量
1	重定向（RRCConnectionRelease with redirection information）	单/单	Release 8	强制 UE 支持 CSFB 至 1xRTT
2	增强的 1xCSFB（HandoverFromEUTRA PreparationRequest，ULHandoverPreparationTransfer，MobilityFromEUTRACommand）	单/单	Release9	UE 容量中 e-CSFB-ConcPs-Mob1xRTT 的指示
3	并发 HRPD 切换的增强 1xCSFB（same as enhanced 1xCSFB）	单/单	Release 9	UE 容量中 e-CSFB-ConcPS-Mob1xRTT 的指示
4	双接收器 1xCSFB（RRCConnectionRelease without redirection information）	单/双	Release 9	UE 容量中 rx-Config1xRTT set to dual 的指示
5	双收发器增强 1xCSFB transceiver（HandoverFromEUTRA PreparationRequest，ULHandoverPreparationTransfer，DLInformationTransfer）	双/双	Release 10	UE 容量中 e-CSFB-dual-1xRTT 的指示

4）双收发器 e1xCSFB：如果 UE 能够经过 LTE 和 1xRTT 同时接受/发送，使两个无线电独立运作将会是提供 CS 语音业务最简单的方式。独立运作的好处是 LTE 上的 IP 业务不会被 1xRTT 无线运作所影响。然而，这样的方法将会大幅缩短 UE 电池寿命，这是因为两个无线电需要一直运行。

在 R10 版本中引入了一种双收发器 e1xCSFB 机制来利用双收发器能力，同时避免较高的电池消耗。在双收发器 e1xCSFB 机制中的思想是只在 CS 语音呼叫时或者服务 SMS 时才会打开 1xRTT 无线电，在其他情况下则会关闭。当 1xRTT 无线电开启，例如，1xRTT 信令用于通过 LTE 网络的 UE 和 1xRTT 间注册到 1xRTT 的隧道过程。注意即使 1xRTT 无线电运行时，UE 仍可以利用双收发能力和 E-UTRAN 保持联系来继续 IP 业务。

eNB 通过在 SIB8 中广播 csfb-DualRxTxSupport 来声明支持双收发器 e1xCSFB。UE 指明通过 UE 能力中的 e-CSFB-dual-1XRTT 来支持双收发器 e1xCSFB。对双收发器 e1xCSFB，eNB 可能会向 UE 发送包括 1xRTT 配置信息的 DLInformationTransfer 消息。在收到 DLInformationTransfer 消息后，双收发器 UE 在 UE 保持 LTE 无线操作的同时打开 1xRTT 无线电。

表 8.2 概括了 1xCSFB 的可用选择。

8.3.2.2 参考架构

图 8.12 显示了 CSFB 到 1xRTT 的网络架构。MME 通过 S102 接口连接到 1xCS 互通系统（Interworking System，IWS），在此之上打开通道的 1xRTT 消息在 UE 的 1xRTT 部分和 1xRTT 网络之间相联系。1xRTT CS 寻呼消息也经由 S102 被发送至 LTE 网络，接着被传送至 UE。

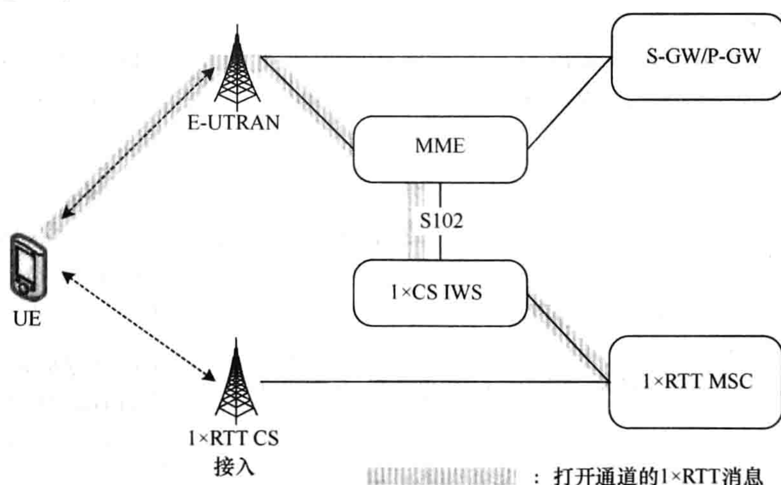


图 8.12 从 CSFB 到 1xRTT CS 的网络架构

8.3.2.3　在 LTE 网络预注册 1xRTT

UE 需要为 CSFB 到 1xRTT 注册到 1xRTT 网络。在 R8 版本中，引进一种机制允许 UE 经过 LTE 网络注册 1xRTT。这种经过 LTE 网络 1xRTT 注册程序常被称作预注册，并且是通过在 UE 和 1xRTT MSC 之间交换 1xCS 消息来实现的。预注册可以应用于 1xRTT CS 和/或 1xRTT HRPD。

图 8.13 描述了预注册程序。E-UTRAN 可以在 SIB8 中宣传预注册参数。预注册到 1xRTT 的网络和 HRPD 是由 SIB8 中 csfb-RegistrationParam1xRTT 和 preRegistrationInfoHRPD 分别指定的。

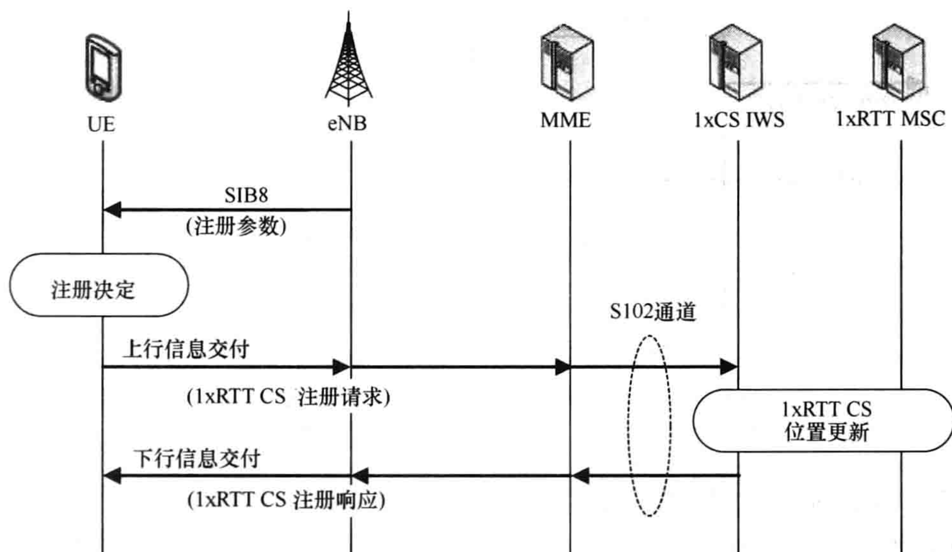


图 8.13　预注册至 1xRTT.

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

UE 的 RRC 层在收到指明支持预注册的 SIB8 后，通过转发包含在 SIB8 中到 CDMA2000 上层相关参数，来确定是否需要（重新）登记。如果 UE 的 CDMA2000 上层要求注册 1xRTT CS，UE 就会通过向 eNB 发送 1xRTT CS 注册请求消息来执行注册程序。1xRTT CS 注册请求消息被转发至 MME，然后通过 S102 接口隧道送至负责 LTE 网络和 1xRTT CS 域之间的互通的 1xCS IWS。

在收到 1xRTT CS 登记请求消息之后，1xCS IWS 执行具有 1xRTT MSC 的 UE 的注册程序。1xRTT CS 注册结果通过 1xRTT CS 注册响应消息被送回至 UE。

8.3.2.4　移动发起呼叫的 1xRTT CSFB

图 8.14 显示了使用包括重定向信息的 RRCConnectionRelease 消息的 CSFB 到 1xRTT 移动发起呼叫的简化程序。

1）步骤 1：如果 UE 无法初始化 IMS VoIP，并且 UE 被连接到 LTE 和 1xRTT，UE 决定通过向 MME 发送扩展服务请求为移动发起呼叫调用 1xRTT CSFB。

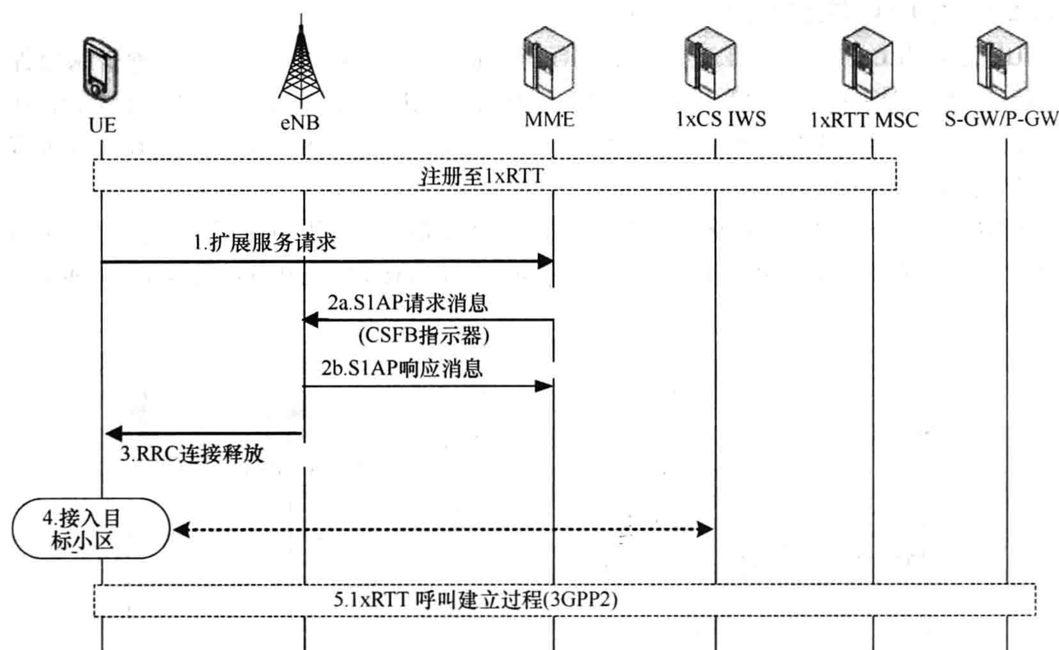


图 8.14 CSFB 到 1xRTT（1xCSFB）的移动发起呼叫

2）步骤 2：收到扩展服务请求的 MME 触发 eNB 执行 CSFB 相关的 RAT 间迁移程序，这是通过使用 S1AP 消息从 E- UTRAN 到 1xRTT 的（UE 上下文环境修改请求）。S1AP 消息包括了 CSFB 指示符。

3）步骤 3：在收到包括 CSFB 指示符的 S1AP 消息之后，eNB 通过向 UE 发送包括指向 1xRTT 的重定向信息的 RRCConnectionRelease 消息触发 RAT 间迁移至 1xRTT。接着 eNB 请求 MME 释放在 MME 中存储的 S1 UE 上下文环境。

4）步骤 4：在收到来自 eNB 的 RRCConnectionRelease 消息之后，UE 就会释放 RRC 连接，并根据包含在 RRCConnectionRelease 中的重定向信息接入 1xRTT 网络。

5）步骤 5：对于 1xRTT 呼叫的建立，UE 遵循 3GPP2 规范。

8.3.2.5 移动终止呼叫的增强 1xRTT CSFB（e1xCSFB）

图 8.15 显示了 e1xCSFB 移动终止呼叫的简化过程。注意在步骤 7 中，向支持单收发器的 UE 发送了 MobilityFromEUTRACommand，向支持双收发器的 UE 发送了 DLInformationTransfer。

8.3.2.6 移动终止呼叫的 1xRTT CSFB

对于到 1xRTT 的 CSFB 移动终止呼叫，寻呼接收/响应信令被添加到一个移动终止呼叫的过程。图 8.16 显示了移动终止呼叫的 1xRTT CSFB 过程。

1）步骤 1：1xRTT MSC 向 1xCS IWS 发送 1xRTT CS 寻呼请求。寻呼请求接着经过 S102 接口经打通的通道到 MME。1xRTT CS 寻呼请求被转发至 eNB，接着经 DLInforma-

tionTransfer 转发至 UE。

2）步骤 2：UE 通过向 MME 发送扩展服务请求从而响应收到的 1xRTT CS 寻呼请求。

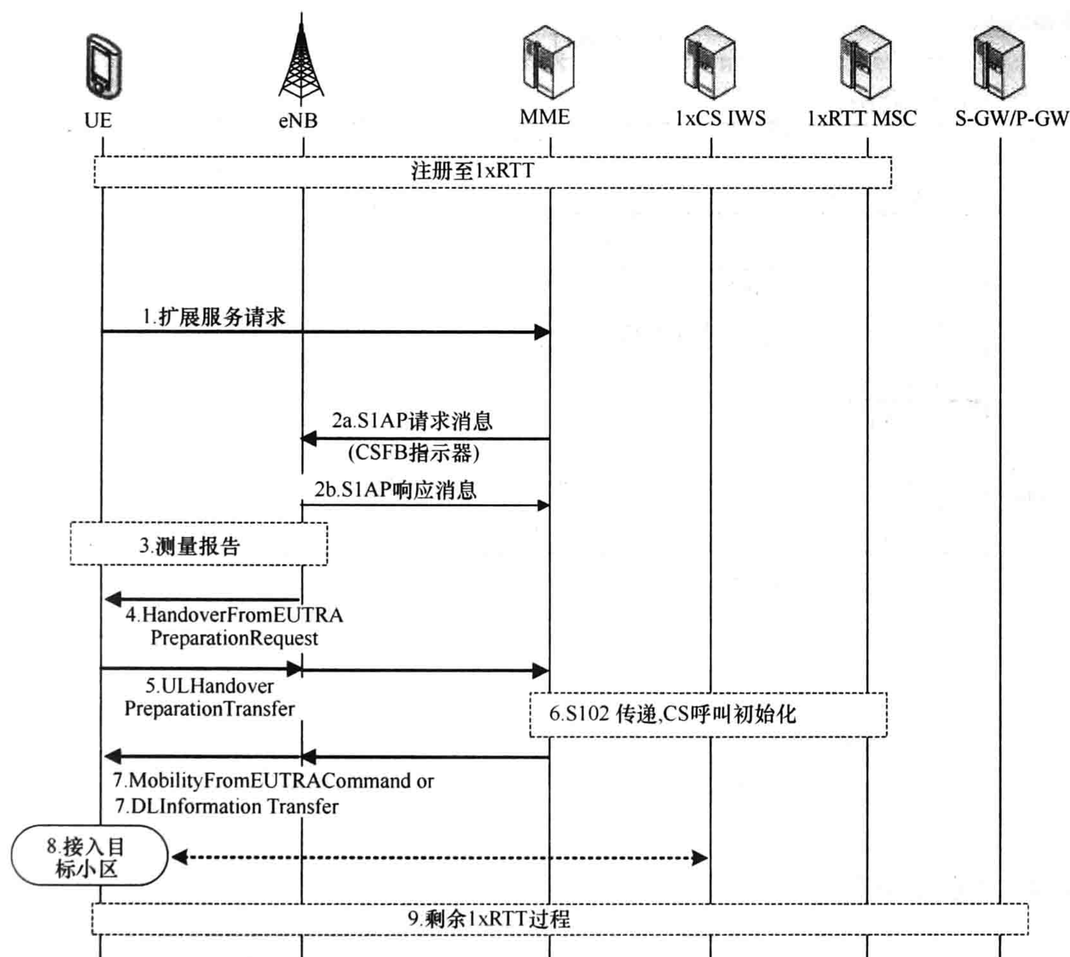


图 8.15　增强 CSFB 到 1xRTT 的移动发起呼叫

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

3）步骤 3：在收到扩展服务请求之后，MME 通过使用包括 CSFB 指示符的 S1AP 消息调用 eNB 执行 CSFB 相关的 RAT 间迁移。

4）步骤 4～7：应用了图 8.14 中的相同的步骤 3 到步骤 5。另外，UE 向 1xRTT 发送 1xRTT CS 寻呼响应。在收到寻呼响应之后，1xRTT MSC 停止重传 1xRTT CS 寻呼请求。

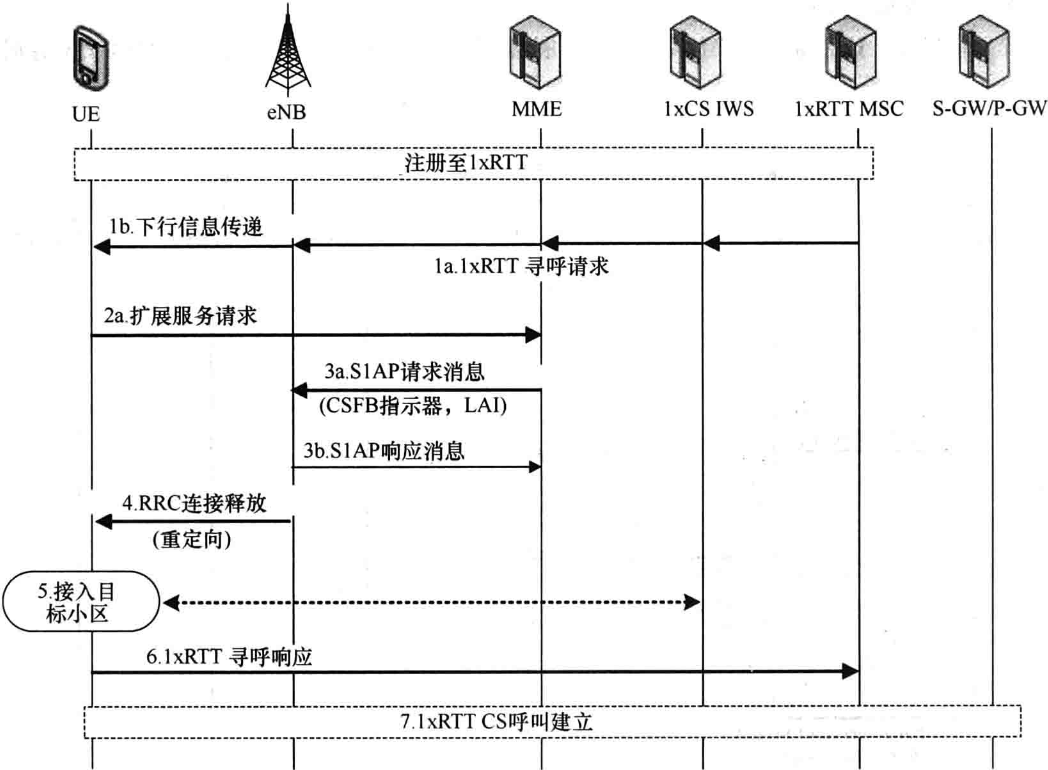


图 8.16　CSFB 到 1xRTT（1xCSFB）的移动终止呼叫

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

8.4　服务域选择

对于一个移动初始呼叫，如果 UE 支持 CSFB 和 IMS VoIP。它必须根据偏好决定使用哪一种语音解决方案。这个决定等价于为语音服务选择 CS 域或 PS 域。UE 需要考虑通过 HPLMN 运营商偏好向 UE 提供的语音域偏好，和由网络本章参考文献［5］决定的网络能力。

1）语音域偏好：语音域偏好意味着 UE 关于语音服务更偏好的域（PS 域或 CS 域）。

① 仅 CS 域语音配置了这个值的 UE 不会尝试具有 EPS 承载的 IMS 语音。

② CS 域语音优先，IMS PS 域语音待选：配置了这个值的 UE 更倾向于尝试 CS 域进行语音服务。

③ IMS PS 域语音优先，CS 域语音待选：配置了这个值的 UE 更倾向于尝试具有 EPS 承载的 IMS 语音。

④ 仅 IMS PS 域语音：配置了这个值的 UE 只会尝试具有 EPS 承载的 IMS 语音。

UE 向网络提供这个信息，然后网络使用这个信息为 UE 选择一个 RAT/频率选择优先级（RAT/Frequency Selection Priority，RFSP）。为了引导 UE 倾向于偏好域的 RAT，这个被选择的 RFSP 可能配置给 UE。

2）网络能力：在附着或者跟踪区域更新过程，网络向 UE 提供如下它支持功能的信息。这个信息可能影响 UE 选择语言解决方案：IMS 语音支持、仅 SMS、CSFB 不可取。

8.4.1　UE 在 IMS VoIP 和 CSFB 之间的决定

原则上，应由 UE 进行在 IMS VoIP 和 CSFB 之间的选择，但是让 UE 支持 CSFB 和 IMS 实施细节，在本章参考文献［6］发布。一般地，UE 知道，在附着过程中，它的偏好域能否真正提供语音服务。如果偏好域能提供语音服务，当需要服务一个语音呼叫时，UE 将使用偏好域；否则它将使用另一种域。例如，我们假设某个 UE 设置为“CS 域语音优先，IMS PS 域语音第二位”。根据 UE 语音域偏好，UE 首先尝试进行联合注册，为 CSFB 做准备，就如 8.3 节描述那样。如果联合附着过程成功，并且网络没有在附着接收消息中表明“CSFB 不可取”或“仅 SMS”，UE 将倾向于选择 CSFB 进行语音服务。否则，UE 将使用 IMS 语音。其他实例能在本章参考文献［6］找到。

8.5　IMS VoIP 和 CSFB 的比较

IMS VoIP 可以充分运用一个扁平的 IP 架构的好处，例如，在语音呼叫中保持 LTE 数据传输速率和适应丰富的多媒体属性，这个属性可以配合语音服务和其他服务。在这种网络上的投资，大部分集中在部署 IMS 核心网，而非升级传统网络。因为语音服务在所有 IP 架构中集成了通用框架，简化服务提供的操作好处得到最大化。IMS VoIP 完全符合 3GPP 标准，并且预计它可以减少互操作性问题。

相对于在传统网络开始和结束的通用语音呼叫，CSFB 会引起额外的呼叫建立延时。导致额外延迟的原因包括 LTE 上的 RRC 连接建立过程和接下来的从 LTE 到 2G/3G 的移动过程，这些过程在传统语音呼叫建立过程并不需要。在 CSFB 中，如果 UE 在移动到传统 RAT 后需要进行位置区域更新，将增加更多的延时。在由 CSFB 进行的语音呼叫中，当 UE 由传统 RAT 提供服务时，数据服务降低甚至停止是不可避免的。CSFB 也要求支持传统网络升级，例如通过 E-UTRAN 的 CS 寻呼和为 CSFB 进行的从 LTE 到 2G/3G 的移动性。

即使有它的缺点，CSFB 依然是一个可行和有吸引力的解决方案，因为它能通过重用传统网络现有的语音解决方案来准备提供语音服务。需要的网络变化并不显著，因此，运营商很愿意提升 CSFB 的用法来作为临时语音解决方案。因为 CSFB 是一个 3GPP 标准，互操作性的问题可以很大程度上避免。

在表格 8.3 中提供了 IMS VoIP 和 CSFB 之间的简要比较结果。

8.6 针对 VoIP 的 RAN 优化

从一个接入层的角度看，装载语音数据包的承载有如下的特点：

1）语音数据包的有效尺寸很小；

2）IP 包的到达是有规律的，例如，周期 20ms。

从这些特点来看，当 VoIP 广泛使用时，人们预测，因为相对较大的数据包报头和频繁调度而导致的信令开销，将引起无线接口信令开销的大幅增加。在某些解决方案中，VoIP 覆盖范围可能被上行功率限制，因为语音延迟的严格要求，这是无法通过常规重传算法解决的。为了解决这些问题，R8 版本定义了一些优化，包括鲁棒性报头压缩、TTI 捆绑、半持续调度。

表 8.3 IMS VoIP 和 CSFB 的比较

比较类别	比较因素	IMS VoIP	CSFB
性能	呼叫建立延时	与本地呼叫建立延时相似或更短	比本地呼叫建立延时更长
	语音呼叫中同时传递语音与数据	Yes	是/不是（取决于目标）
服务	语音服务中保持 LTE 数据传输速率	Yes	No
	支持高级服务	Yes	No
UE 复杂度	支持的特征	中等复杂度（IMS 客户，SRVCC）	低复杂度（有关 CSFB 的提高）
NW 业务利益/花销	新网络设备的安装	Yes（IMS 核心）	没有，但是 MME 有小提高
	原网络设备更新	有限	是（所有 MSC 覆盖在 LTE 网络上）
	区域间的覆盖工程	不需要	需要
互用性问题	所有 IP 结构	Yes	No
	标准契合	3GPP 符合	3GPP 符合

8.6.1 鲁棒性报头压缩

鲁棒性报头压缩（ROHC）是一种压缩 IP/UDP/RTP 或 IP/TCP 报头的方法。针对语音的 IMS 配置和 SMS 决定了 UE 和网络必须支持鲁棒性报头压缩来减少开销。ROHC 是用 PDCP 层进行的，ROHC 的细节如 4.2 节描述那样。

8.6.2 TTI 捆绑

在上行连接功率限制了 VoIP 覆盖范围的情况下，例如，一个小区边界，传统的方

法如 MAC 层的 HARQ 重传或 RLC 层的分割将被使用。这种方法不能避免引入额外的时延和信令开销，这肯定会对实时服务的质量和对有限的无线电资源的资源利用效率产生负面影响。

作为一种替代的解决方案，TTI 捆绑的概念被引入了。如果 TTI 捆绑被配置，一个包含 VoIP 数据包的运输块将通过 4 个连续的 TTI 进行重传。在每一个 TTI 中，不同的冗余版本被应用到该传输块。在 TTI 捆绑中的对上行传输的下行 HARQ 反馈将在每一次捆绑通过 eNB 发送。更多的信息见 6. 8 节。

8. 6. 3　HARQ 的半持续调度

因为一个编码器通常每 20ms 产生一个语音数据包，在语音服务中，需要以周期的方式给 UE 提供调度许可。考虑到 VoIP 数据包尺寸相对较小，每个语音数据包的动态调度将导致显著的控制信令和调度的开销。

为了减少这种开销，在第八版中引入了半持续调度。有了半持续调度，针对接收和（或）发送的预定义的调度许可将被配置，UE 在预定义场合不需要特别的信令就能接收下行流量和发送上行流量。更多的信息见 6. 4. 2 节。

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 23.237, "IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 2 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
2. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 23.216, "Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC); Stage 2 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 23.272, "Circuit Switched (CS) fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 24.301, "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
6. 3GPP Technical Specification 23.221, "Architectural Requirements (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第 9 章　家庭增强型基站

家庭增强型基站（HeNB）是一种向移动设备提供到一个移动运营商的网络连接的低功耗基站，例如，通过小区宽带 IP 连接。相比宏小区，由于其低功率传输能力，HeNB 的覆盖范围相当小。出于这个原因，我们常说 HeNBs 是 Femto 小区服务基站。图 9.1示出了 HeNB 部署的概念图。

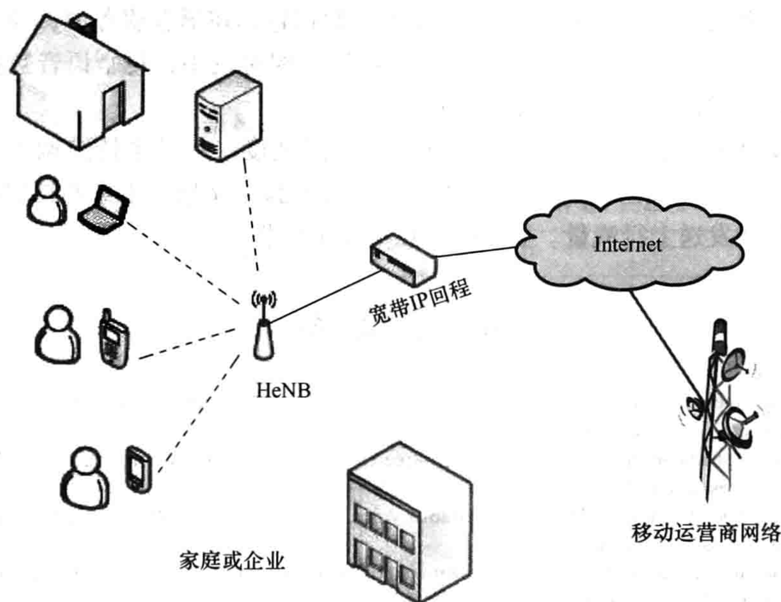


图 9.1　HeNB 的概念图

在 3GPP 标准中，服务 Femto 小区的低功耗基站在 UTRAN 和 E-UTRAN 中分别被称为家庭 Node B（HNB）和家庭增强型 Node B（HeNB）。

“低功耗”也可以被解释为“更小的廉价设备”，这是对 Femto 小区良好的可扩展性和/或无处不在的部署特性有力的支持。从许多运营商的经验来看，Femto 小区已成为具有成本效益、能力加强及覆盖延伸等优点的装置。深层渗透的宽带 IP 连接还鼓励更广泛的 Femto 小区部署。

虽然对 Femto 小区部署的需求已经越来越强烈，一个涉及 Femto 小区并且有利于多厂商环境的标准解决方案并不存在。不同厂商与不同的执行方式形成了分散的市场，以及不同厂商之间互操作性的缺陷阻止了 Femto 小区市场规模的增长。

要实现在不同供应商之间具有完全可操作性的 Femto 小区的大批量生产，3GPP 与 Femto 论坛、宽带论坛合作，付出了艰苦的努力。其结果是，R8 通过大量的规范来支持 Femto 小区，以确保基于标准协议的 Femto 小区设备的生产和部署。

有趣的是，和 Home(e)NB 名字本身意义相比，H(e)NB 的部署环境不限于家庭，还包括企业、城市热点和农村地区。在研究支持 Femto 小区的 3GPP 的初始阶段，Femto 小区部署被认为主要用于家庭环境中，参见本章参考文献［1］。即使 3GPP 已经确定出在家庭外部署 HeNB 的多种方案，3GPP 规范仍然坚持原来的术语，因此，术语“H(e)NB”已在整个 3GPP 规范中正式使用。

在本章参考文献［2，3］中定义了很多与 HeNB 相关的术语。一些术语和定义如下：

1）Home Node B（家庭基站，HNB）：HNB 是使用宽带 IP 回程，将 UTRAN 中的 UE 连接到移动运营商网络的客户端上的一台设备。

2）Home eNode B（家庭增强型基站，HeNB）：HeNB 是使用宽带 IP 回程，将 E-UTRAN中的 UTRAN 中的 UE 连接到移动运营商网络的客户端上的一台设备。

3）H(e)NB：HNB 和 HeNB。

4）CSG（闭合用户组）：闭合用户组识别运营商的用户，允许该运营商的用户访问一个或多个访问受限的小区（CSG 小区）。所有服务相同 CSG 的 H(e)NB 共享相同的识别码，这种识别码被称为 CSG 识别码。

5）CSG 小区：CSG 小区是能够广播明确的 CSG 识别码的一种小区（PLMN 的一部分）。具有 CSG 识别码的闭合用户组的成员可以接入该 CSG 小区。所有共用相同识别码的 CSG 小区被识别为一个单一的组。

9.1　架构框架

9.1.1　接入方式

在 R8 版本中，HeNB 在开放接入方式或封闭接入方式下运作。如果 HeNB 在开放接入方式下运作，那么它不和任何一个 CSG 相关联，因此就作为一个普通的 eNB。

如果 HeNB 工作在封闭接入方式下，它就和 HeNB 广播的 CSG 相关联，这时，只有 UE 是 CSG 中的合格成员才能接入 HeNB。表 9.1 表示了两种 HeNB 接入方式和与之对应的 UE 接入许可。

表 9.1　HeNB 接入方式和 UE 接入许可（Release 8）

CSG 成员关系	HeNB 接入方式	
	开放接入方式	封闭接入方式
CSG 成员	UE 接入被允许	接入被允许
CSG 非成员	UE 接入被允许	接入不被允许

9.1.2　应用案例

HeNB 可以有很多益处，如图 9.2 所示。

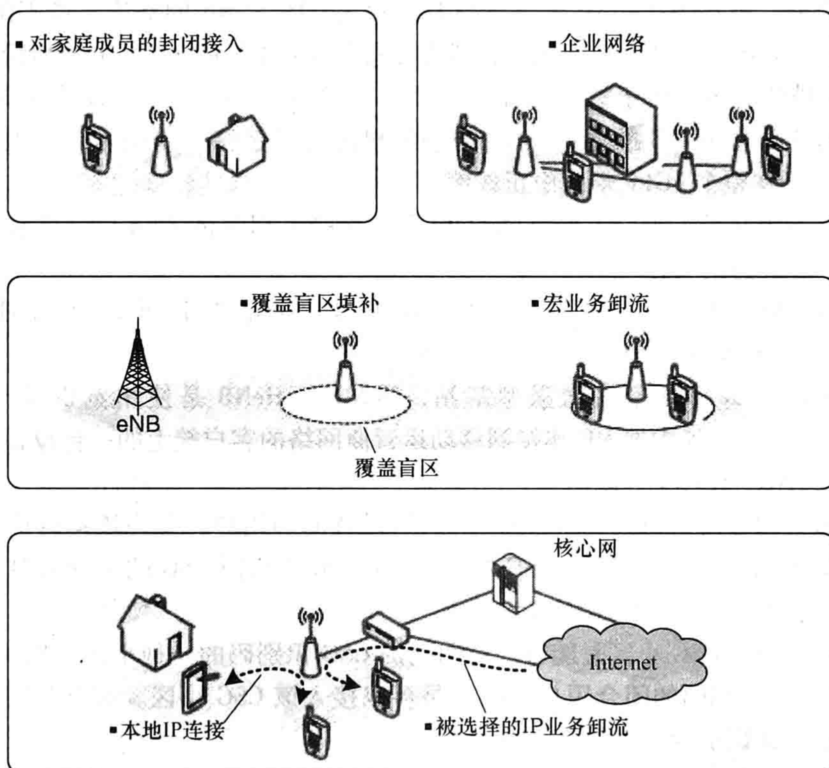


图 9.2 HeNB 使用案例

1）更紧密地接入家庭成员：一个 HeNB 安装在家中并在封闭接入方式下运作。只有家庭成员才能享有 CSG 成员资格。家庭成员被允许接入 HeNB 而其他人不被允许。因为 HeNB 提供的所有调度机会，只在家庭成员间共享，所以服务质量会更好。例如，更高的数据传输率和更短的延迟时间。

2）企业网络：企业中安装了一簇 HeNB 并运作在封闭接入方式下。雇员可以用自己的移动设备接入工作组。HeNB 和企业的电话系统相互连接，雇员可以通过连接在 HeNB 上移动设备拨打或收听电话给一条固定的线路。

3）宏基站业务分流：HeNB 安装在大城市的热区并在开放接入方式下运作。因为在 HeNB 服务区域的覆盖下，用户的业务通过 HeNB 传输而不是宏基站，宏基站的业务就被分流给 HeNB，这样宏基站的业务就不那么繁忙了。

4）覆盖盲区填充：一个 HeNB 被屋主安装在一个移动运营商公共网络覆盖不到的居民区域。这时可以通过无线接口提供用户丰富的多媒体资源。

5）家庭网关：HeNB 安装在住宅里并在封闭接入方式下运作。基于家庭式的服务，如一个家庭媒体服务器、一个家庭多媒体播放器、一台无线打印机和 IPTV 被集中在 HeNB 上。用户通过移动设备在 HeNB 或 HeNB 覆盖之上的移动运营商的网络覆盖下享受家庭服务。用户还可以通过 H(e)NB 把在一个移动设备上运行的多媒体回话传到另一个设备上，例如电视。

6）本地 IP 接入（Local IP Access，LIPA）：HeNB 安装在家庭或企业。由 IP 驱动的 UE 通过 HeNB 能够被连接到其他的由 IP 驱动的设备上，这样做只需切换运营商网络实体而不必切换网络，例如说，一个并置在 HeNB 上的本地网关。连接在 HeNB 上由 IP 驱动的 UE 根据控制信号仍能够被运营商连接到。

7）选定的 IP 业务分流（Selected IP Traffic Offloading，SIPTO）：HeNB 安装在家庭或企业中。不需要切换移动运营商的网络，UE 就可以享受 IP 服务，例如因特网服务。

9.1.3　高层需求

下面是在 HeNB 和享用 HeNB[4]服务中应该支持的高层需求。

1）接入控制：在运营商和 HeNB 举办方协议允许下，HeNB 的接入方式可以由运营商控制。

2）CSG 配置：在运营商的监督下，CSG 成员应该可以被添加和删除。UE 和网络应该保留一份可以被接入的一组 CSG 名单。

3）显示：当一个 UE 寄宿在一个 CSG 小区上时，一个小区的 CSG 类型——开环或闭环（或 R9 中的混合类型）应该被指示给用户，这样用户就将它普通的小区区分开。如果和 CSG 相关的 CSG 小区类型没有为 UE 配置，那么由 HeNB 广播的“HNB name”就会被显示出来。

4）运营、管理和维护（OAM）：HeNB 应该支持 OAM 程序，这样运营商就可以配置 HeNB 的参数。

5）移动性管理：通过 HeNB，UE 可以使用正常的 PLMA 选择程序注册 PLMA。在 RRC_IDLE 的移动性中，如果相关准则满足的话，CSG 小区优先。在 RRC_CONNECTED 移动性中，在源小区或目标小区是一个 HeNB 小区的情况下支持切换功能。为了支持移动性，需要对使用的 CSG 进行扫描。

6）安全性：HeNB 应该提供一个至少和 R8 版本中 3GPP 系统相等的安全水准。

9.1.4　网络体系结构

图 9.3 描绘的是支持 HeNB 的网络架构。一个 HeNB 可以直接和 MME/S-GW 连接，在 HeNB 和 EPC 之间可能使用 GW 来建立 S1 接口。HeNB GW 通过减少信令的负担来部署大量的 HeNB，否则这些信令将传输给 MME。

对于控制层面，来自 HeNB 的 S1-MME 接口可能在 HeNB GW 处终止，或者在 HeNB 和 MME 建立直接的连接。对用户层面，来自 HeNB 的 S1-U 接口可能在 HeNB GW 处终止，或者在 HeNB 和 S-GW 建立直接的连接。

为了 CSG 的配置，CSG 服务器被连接到 UE 和 HSS 上。注意 R8/9 不支持 X2 接口。在 R10 中，如 9.5.2 节描述的那些限制条件下，HeNB 支持附近 HeNB 的接口。

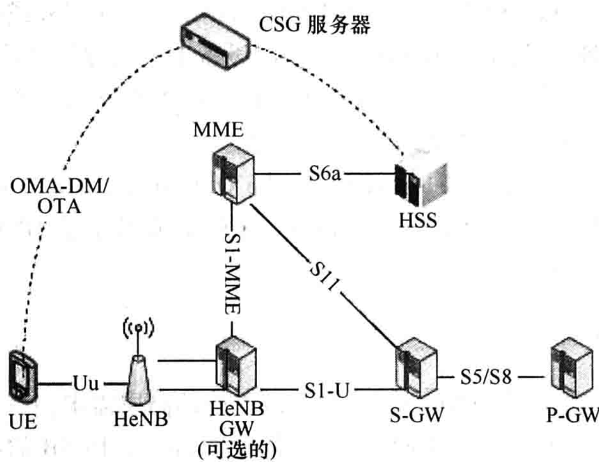


图 9.3 支持 HeNB 的网络架构

由© 2010 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB，ATIS，CCSA，ETSI，TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

9.2 闭合用户组配置

对于一个网络来说，它应当可以管理 CSG 成员关系，例如，在网络控制下的 CSG 名单中添加或删除一个特殊的用户，UE 同样也可以配置 CSG 名单。这种管理称为 CSG 配置。

从 UE 的角度来说，认为 UE 是 CSG 一个成员，并且管理 CSG 列表。这个 CSG 名单被称为是 UE 的 CSG 白名单。运营商也应该管理用户的 CSG 订阅数据。

9.2.1 CSG 订阅数据

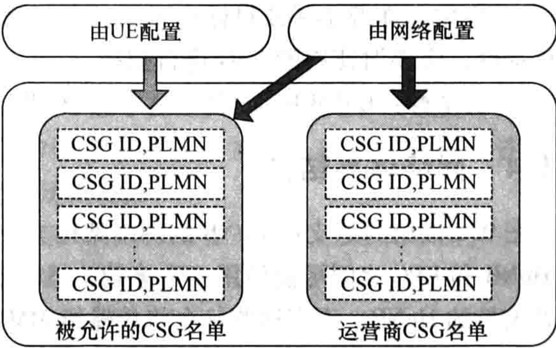


图 9.4 UE CSG 白名单

UE 的 CSG 订阅数据存储在 HSS 中。当 UE 注册网络时，CSG 的订阅数据就传给 MME。对于 UE 来说，CSG 订阅数据存储在 UE 的 USIM 里。如图 9.4 所描述，CSG 白名单由“允许的 CSG 名单”和一个“运营商 CSG 名单”组成。允许的 CSG 名单可以由 UE 和网络配置，而运营商 CSG 名单只能由网络配置。CSG 配置可以由 OMA DM 程序或 OTA 技术执行。在人工选择 CSG 的情况下，CSG 白名单可以在附着或者跟踪区域更新运行过程中更新，NAS 程序也可以用来配置 CSG。

“允许的 CSG 列表”和“运营商 CSG 列表”都由一列目录组成。每一条目录包含一个 CSG 标识和一个同该目录下 CSG 标识相关的 PLMN 标识。

9.2.2　CSG 成员状态

E-UTRAN 小区广播与 SIB1 里小区的接入性相关的信息。一个小区的 PLMN 标识是 SIB1 广播信息中的一条。CSG 小区也广播 CSG 标识，识别出这个小区属于哪个 CSG。

如果 CSG 小区广播的成对的 CSG 标识和 PLMN 标识至少与 CSG 白名单中一个目录相匹配就说明这个 UE 是 CSG 小区里的一个成员，否则不是。

9.3　与 CSG 相关的系统信息

当一个 UE 检测一个小区的时候，它应该能够识别出这个小区的特性，例如，类型或可接入性。如果这个小区被识别成一个 CSG 小区，UE 应该能够对这个小区的可接入性进行评价。为了达到这个目的，和 HeNB 相关的信息由小区进行广播。这种相关信息包括 CSG 标识码、CSG 指示、HNB 名和 CSG 小区 PCI 信息。这样的信息可以被归类成两种类型：CSG 识别信息和 CSG 小区部署信息。表 9.2 列出了 HeNB 相关的广播信息。

表 9.2　HeNB 相关广播信息

HeNB 信息	描　述	格　式	SIB
CSG Identity (CSG ID)	和 HeNB 相关联的 CSG ID 仅由 CSG 小区的强制广播	27 位串	SIB1
CSG 指示	指示一个小区是否是 CSG 小区 由 CSG 小区和普通小区的强制广播	布尔型	SIB1
HNB 名称	自由文本格式的可读 HeNB 名称	每个字符可变字节数的 UTF-8 编码	SIB9
PCI 分裂信息	仅由 CSG 小区的强制广播 用 CSG 小区保留的 PCI 范围 由 CSG 小区的强制广播	PCI 范围	SIB4
CSG 小区	由非 CSG 小区的可选择广播		

9.3.1　CSG 识别信息

一个 CSG 小区广播 CSG 识别信息，这样 UE 就可以识别出这个小区是否是一个 CSG 小区。CSG 识别信息也被 UE 用来判定 CSG 小区是否可接入。下面描述的是 CSG 识别码的参数和与之对应的参数性质。

1. CSG 标识码（CSG ID）

1）CSG ID 识别出这个小区为哪个 CSG 提供服务。

2）CSG 小区广播 CSG ID。

3）UE 用 CSG ID 来判别 CSG 的授权接入性。

4）SIB1 承载 CSG ID。

5）CSG ID 的格式是 27bit 长的位串。

2. CSG 指示

1）CSG indication 指示出这个小区广播的 CSG 指示是否是一个 CSG 小区。

2）所有的 E-UTRAN 小区都广播 CSG 指示。

3）UE 用 CSG 指示识别该小区是否是 CSG 小区

4）SIB1 承载 CSG 指示。

5）CSG 指示通常是布尔型，只有 CSG 小区可以设置 CSG 指示为 TRUE。

3. HNB 名

HNB 名是一个以自由文本格式广播的字符串，它为 HeNB 提供可读的名字。

不同类型的小区广播不同的 CSG 识别信息集。一个 CSG 小区应该广播设置为 TRUE 的 CSG 指示和它提供服务的 CSG 标识。一个普通的小区仅仅广播设置为 FALSE 的 CSG 指示。注意如果 HeNB 运作在开放接入方式下，那么 HeNB 中的小区是普通小区。表 9.3 总结了不同类型小区广播的 CSG 识别信息。

表 9.3　HeNB 小区类型/接入方式识别（Release8）

小区类型	HeNB 接入方式	CSG 指示	CSG 识别
普通小区	开放接入方式	FALSE	Absent
CSG 小区	封闭接入方式	TRUE	Present

9.3.2　CSG 小区部署信息

小区重选过程需要 UE 执行评估，例如，通过比较已测量质量高低对候选小区进行排序，通过阅读选出的小区的系统信息进行适用性检查。对于不支持 CSG 的 UE，在小区重选过程中，最好是忽略 CSG 小区，以避免 CSG 小区尝试不必要的小区重选。

为了使这样的 UE 能够在不读取 CSG 指示的前提下忽略 CSG 小区，3GPP 采用操作假设：在 CSG 部署的频率范围内，一系列 PCI 应该在该频率上保留下来。这就意味着整个 PCI 的范围（0，…，503）被分成 CSG 范围和非 CSG 范围，并且任何在相关频率范围内的 CSG 小区都应该被配置，使其能够使用一个 PCI，该 PCI 在为 CSG 小区保存下来的 PCI 范围中。

这种 PCI 分裂的实用性源于一个事实：有关小区的 PCI 可以在小区检测阶段得到——在小区主同步信道和辅助同步信道的获取上显然要比阅读系统信息上要早。考虑到提供给 UE 的 PCI 分裂信息具有不存在或空的 CSG 白名单，从小区重选的候选小区中，UE 可以忽略任何使用 PCI 的在重选候选 CSG 小区 PCI 范围内的小区，这样可以避免不必要的重选尝试/评估。

CSG 小区和非 CSG 小区之间 PCI 分裂信息被提供给 SIB4 中的 UE，简称 csg-PhysCellIdRange，参见本章参考文献［6］。广播 PCI 分裂信息对 CSG 小区来说是强制性的

而对非 CSG 小区来说是可选择的，例如宏基站。

PCI 分裂信息和频率有联系。这种联系意味着如果一个频率的 PCI 分裂信息只被 UE 获得过一次，当 UE 寄宿在具有相关频率的小区上时也是适用的，直到获得新的 PCI 分裂信息。这种联系也意味着如果 UE 从某个频率的小区获得了 PCI 分裂信息，这个信息只在该频率适用。对于另一个频率，所获得的相一致的 PCI 分裂应该也适用。PCI 分裂信息一旦被获得就被认为最长 24h 有效。

9.4　CSG 的识别

对 CSG 小区的移动性应该从一个 UE 附近的 CSG 小区识别开始。识别过程应该由下列两种方式中的任一种来驱动：自动 CSG 搜索功能和手动 CSG 选择功能。

自动 CSG 搜索功能自动搜索或识别 CSG 小区，手动 CSG 选择功能在 NAS-level 干涉的基础上人工执行命令，例如根据用户选择或偏好来选择。

9.4.1　自动 CSG 搜索

自动 CSG 搜索功能，在 UE 的接近下搜索和识别成员 CSG 小区，无需用户干预。这种功能应该对频率内、频率间、甚至是其他 RAT 的成员 CSG 小区都适用，并且只在 UE 的 CSG 的白名单不为空时。识别出的成员 CSG 小区对 RRC_IDLE 中的 UE 来说是重选小区的候选人，或者对 RRC_CONNECTED 中的 UE 来说是可能切换的目标小区。

尽管自动 CSG 搜索很重要，其详细功能并没有以标准的形式定义：何时何地使用这项功能完全由 UE 决定。注意，为了确保自动 CSG 搜索功能的可测试性，在本章参考文献 [7] 明确给出关于从非 CSG 小区到频率间 CSG 小区重选的最低要求。

关于自动 CSG 搜索的实现，周期性的 CSG 小区搜索应该在考虑范围内。为了更有效地执行，位置信息应该作为激发搜索功能的触发源。当 UE 寄宿在一个成员 CSG 小区上时，位置信息可以作为此刻的宏小区的无线电测量，或者是更精确的地理信息，如：CSG 小区全球卫星导航系统的位置。为了使其智能实现，不管何时 UE 作为成员寄宿在 CSG 小区上，都需要存储当时的位置信息。如果宏小区的无线电测量被用作位置信息，小区识别码和对服务/周边宏小区测量出的质量信息应该被存储下来。基于存储的位置信息，每当 UE 遇到之前存储的相似的无线指纹，UE 将假定之前接入过的成员 CSG 小区附近，因而激发对该 CSG 小区的搜索。

注意自动搜索功能独立于普通测量。这暗示着自动搜索功能在使用时，如果 CSG 小区存在，UE 应该能够测量和识别 CSG 小区，即使由于服务小区的高效优质，UE 被允许跳出附近小区的普通测量。

9.4.2　手动 CSG 选择

手动 CSG 搜索功能是对自动搜索功能的补充。手动搜索功能在自动搜索功能无效时使用，例如，当 UE 想要手动选择某个 CSG 时。

在接收到 NAS 的请求后，AS 通过扫描所有支持 E-UTRA 频带的无线电频率，找到可用的 CSG 小区并将相应的 HNB 名和连到 NAS 的 PLMN 一起报告。在收到来自 AS 报告的 CSG 时，NAS 可能会选择报告的 CSG 中的一个。然后 AS 应该试图寄宿在合适的或选择出的可接入的 CSG 小区上。

应该注意的是，由 UE 报告的 CSG 的 AS 到 NAS 并不仅限于 CSG 成员，NAS 可以选择一个非成员 CSG。如果这种情况发生并且 UE 选择具有该 CSG ID 的 CSG 小区，UE 应发送请求连接或跟踪区域更新，以向网络指示该 UE 已经选择了一个 UE 的 CSG 白名单中未包含的 CSG ID 的 CSG 小区。网络可能会接受请求，即使 UE 的 CSG 成员不是一个，例如，提供一个临时的接入许可给 UE。如果请求被接受，则 UE 应添加 CSG ID 到 Allowed CSG 列表，除非该 ID 已经存在。当接受 UE 接入的不是该 CSG 的一个成员，网络可以配置新增 CSG 的有效时间。在这种方式中，UE 可以临时接入到非成员 CSG。

9.5 CSG 小区的移动性

9.5.1 RRC_IDLE 的移动性

对于 CSG 小区的小区选择，除了扩展定义的“合适的小区”，普通 CSG 小区选择规则都适用，另外应考虑 CSG 成员状态的适用性。这意味着，小区选择过程中的 CSG 小区不优先于正常小区。

相反，对于小区的重选，成员 CSG 小区优先于普通小区。图 9.5 显示了针对 CSG 小区 RRC_IDLE 下移动性的持续的 UE 行为。

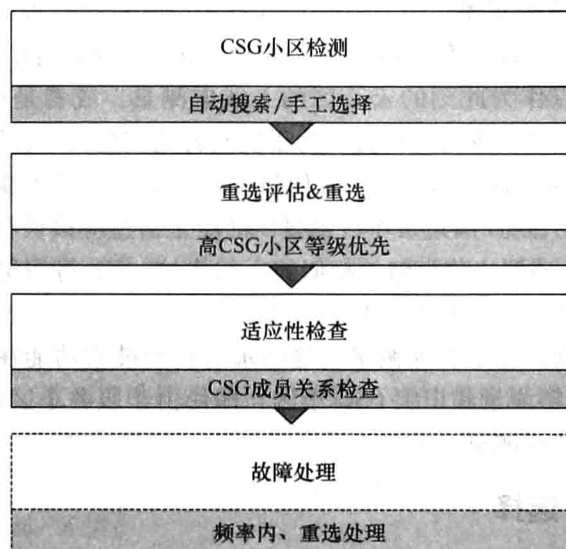


图 9.5 对 CSG 小区的 RRC_IDLE 移动性

正如图中所示，确定优先次序的成员 CSG 小区在以下几个方面引入一些重选行为的变化。

1）检测 CSG 小区重选的候选人；

2）小区重选评估和 CSG 小区的小区重选；

3）重新选择的小区适用性检查；

4）CSG 小区重选小区的故障处理。

9.5.1.1　Step1：CSG 小区检测

对于一个普通的小区重选，按照 2.7 节中所描述的测量规则，UE 对检测到的相邻小区进行测量。但 CSG 小区检测并非总是如此，因为 CSG 小区检测由自动 CSG 搜索或手动 CSG 选择所启动。请记住，自动搜索和手动选择操作独立于普通测量规则。

9.5.1.2　Step2：从 CSG 小区重选

如果 UE 检测到一个或多个合适的 CSG 小区，则 UE 认为那些 CSG 小区为小区重选候选人。根据检测到的 CSG 小区的频率，小区重选的后续行为略有不同。请注意，不考虑当前服务小区类型，下列行为一致适用于一个 CSG 小区或普通小区。

1）频率内的 CSG 小区重选：如果检测到 CSG 小区工作在服务频率上，UE 应用普通重选规则，也就是说，在服务频率上排名最高的小区被选择。

2）频率间的 CSG 小区重选：如果检测到 CSG 小区工作在非服务的频率上，只要该 CSG 小区是那个频率上排名最高的，UE 应尝试重新选择它，而不论该频率的优先级。请注意，这个 CSG 小区优先级机制相当于假设只要 CSG 小区在该频率上排名最高，该合适的 CSG 小区的频率具有最高优先级。如果 CSG 小区不是该频率上的排名最高的，UE 不认为它具有最高优先级，但认为它具有信号的优先级。这是为了防止干扰，避免该频率上寄宿在非最佳排名小区的 UE 产生干扰。

9.5.1.3　Step3：检测重选的 CSG 小区的适宜性

一旦 UE 重新选择一个新的小区，如步骤 2 中所描述的，UE 检查 CSG 小区是否是合适的。对于被认为合适的小区的一般条件如 2.2 节所描述。对于被视为合适的 CSG 小区，施加一个条件：所述 UE 应该是一个 CSG 小区的 CSG 成员，也就是，CSG 小区广播的 CSG ID 和 PLMN 标识码应该呈现在 UE 的 CSG 白名单里。如果 UE 是 CSG 小区的非 CSG 成员，它认为这个小区不合适。

在 CSG 小区的搜索过程中，UE 可以检测出多个 CSG 小区是合适的。由于所有 UE 的 CSG 白名单的 CSG ID 具有相同的优先级，如本章参考文献［3］中规定的，UE 执行时应确定哪些是 UE 选择的 CSG。

9.5.1.4　Step4：CSG 小区重选处理失败

如果由于 UE 的 CSG 非成员状态，重新选择的小区是不合适的，UE 应排除它的重选候选，但其他相同频率上的小区仍然是重选候选人。请注意，这种行为不同于对普通小区重选的处理，当普通小区不合适并且重选普通小区失败时，所有有关频率的小区就都被排除重选候选，否则会对寄宿在这些小区上的 UE 产生干扰。CSG 的情况下的差别是，确保 UE 在经常遇到非成员的 CSG 小区时，任何非成员 CSG 小区不应该剥夺

UE 在相同频率段的其他可接入小区的重选机会。

如果重新选择的小区是“禁止”的，在 2.8 节进行了相同的处理过程描述。也就是说，当重新选择的小区被认为是一个禁止的小区时，UE 仍认为在禁止的小区中的同一频率上的其他小区是小区重选候选。请注意，该禁止小区的系统信息中的intraFreqReselection在这种情况下被忽略。这与不是 CSG 小区的禁止小区的处理是不同的——对其他小区频率内的重选由 intraFreqReselection 严格控制。

9.5.2 RRC_CONNECTED 的移动性

当用户在持续提供的服务下移动到一个 HeNB 或从 HeNB 移出时，向用户提供一个完美的服务体验是至关重要的。R9 版本支持 CSG 小区连接方式的移动性。

从网络架构的角度来看，HeNB 连接方式下的移动性有一些限制。这些限制包括：

1）R9 版本中，假设 CSG 小区没有 X2 接口，也就是说，CSG 小区和其他普通/CSG 小区之间不存在 X2 接口越区切换。这意味着与 CSG 小区总是 S1 切换。

2）R10 版本中，CSG 小区之间可以建立 X2 接口。然而，CSG 小区只可以在两种小区的 CSG ID 相同的情况下进行 X2 切换，在这里，无与 CSG ID 相关的接入控制。

如图 9.6 所示为 CSG 小区的切换过程。其中的每一个步骤的详细如下。

请注意，在步骤 1 ~ 6，重点在无线接口上，一个普通的越区切换只需要步骤 4，而其他步骤只在切换到 CSG 小区时需要。考虑 RRC 一般程序处理的延迟和由系统信息的获取、报告引起的附加延迟，如图 9.6 所示，在 6a 和 6b 的步骤中，CSG 比普通小区越区切换延迟更长的时间。如果目标 CSG 小区是在频率间的，步骤 3 和 4a 就被触发，从而有更多的延迟。

然而，在该 UE 仍在源小区的覆盖范围内的条件下，这样的一个附加延迟，被认为是不太重要的。

9.5.2.1 Step1：CSG 小区的检测

切换到一个 CSG 小区可以由对 UE 附近的 CSG 小区检测所发起。可以通过使用自动 CSG 搜索或手动 CSG 选择进行检测。

9.5.2.2 Step2：接近指示

如果 UE 检测到一个或多个在附近的成员 CSG 小区，如步骤 1 中所述，那么 UE 通过发送被称为 ProximityIndication 的 RRC 消息向源小区指示 CSG 小区的存在。接收到来自 UE 的接近指示，源小区察觉到 UE 在靠近 CSG 小区。请注意，在此步骤中目标 CSG 小区的具体细节对源小区来说是未知的。

Proximity Indication 消息包括以下信息：

- RAT 和相对应的频率；
- 指示类型，进入或离开

ProximityIndication 消息按每个频率发送。在“进入”或“离开”条件下，该消息还指示它是否被触发，其中的“进入”和“离开”意味着该 UE 分别进入或离开接近的成员 CSG 小区。

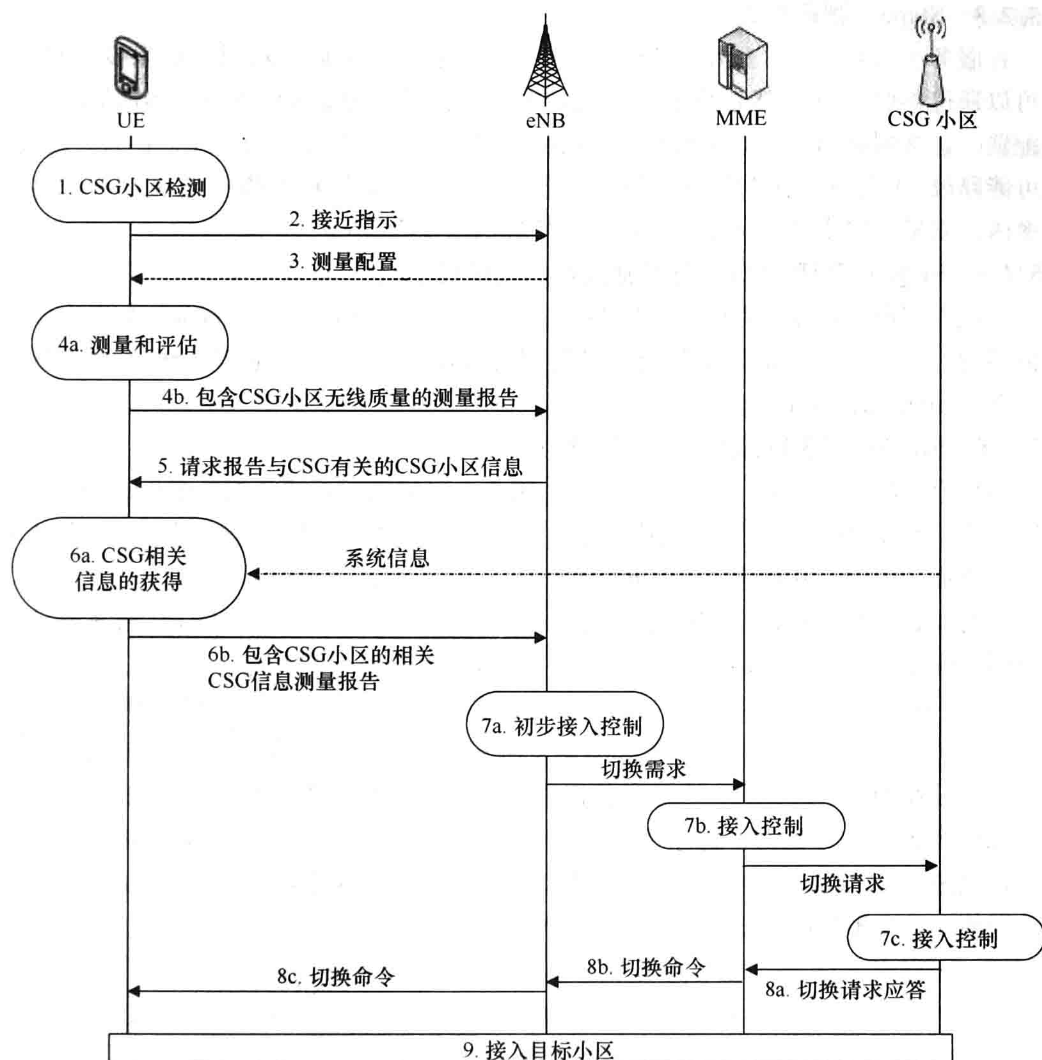


图 9.6　切换到 CSG 小区

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

如果 UE 检测到在多个频率上的多个成员 CSG 小区时，在先前的指示发送 5s 后的限制条件下，UE 在任何后续接近中被允许发送多个接近指示。5/2 限制是抑制接近指示的数目。

请注意，接近指示的触发仅由 UE 实现决定，因而非智能 UE 实现的接近指示触发往往是必要的。如果这种情况发生，将会造成无线资源的浪费。为了避免出现这种不理想情况的发生，只有在服务小区通过 RRC 连接重配置信息中指示 reportProximityConfig 消息的条件下，UE 才被允许发送接近指示。这样，不希望传输的接近指示可以被抑制。

9.5.2.3 Step3：测量配置

在服务小区收到一个频率间的“进入”CSG 小区的接近指示时，如果没有设置，它可以通过参照 RAT 和接近指示频率包含的频率信息，配置 UE 达到适当的频率间测量配置，包括测量间隙。如果服务小区接收到频率间的“离去”CSG 小区的接近指示，它可能释放 UE 进入小区时配置的测量信息。请注意，如果接近指示是在 CSG 小区的频率内，测量配置步骤，甚至不一定需要接近指示步骤。

9.5.2.4 Step4：包括 CSG 小区广播质量的测试报告

在此步骤中，根据 RRM 普通测量配置，UE 执行与测量有关的行为，如 3.9 节中所描述的。如果 CSG 小区测得的结果满足报告标准，UE 则发送包括 CSG 小区测定结果的 MeasurementReport 消息。

9.5.2.5 Step5：请求目标 CSG 小区的附加信息

当接收到测量报告时，通过参考 PCI，服务小区应该检查测量报告中所提到的目标小区是否是 CSG 小区。如果测量报告是由一非 CSG 小区触发的，那么目标小区就由它的 PCI 的唯一识别，并且服务小区请求到 non- CSG 小区的切换准备。

然而，如果测量报告是 CSG 小区的，在触发越区切换前，由于 PCI 干扰和初步接入控制，服务小区应该更多地注意它在这个阶段不提供的 CSG 信息。

PCI 干扰是指两个或两个以上的小区在相同的宏小区区域使用相同的 PCI 的情况，如图 9.7 所示。由于不协调的部署和有限的 CSG 小区保留 PCI 资源的性质，可能导致 CSG 小区处在 PCI 干扰状态。在这种情况下，CSG 小区不被 PCI 唯一识别。解决 PCI 干扰，在切换成 CSG 小区时，源小区应该被告知目标小区的全球小区识别。由于全球小区识别是由一个 PLMN 内唯一 PLMN 标识和一个 E- UTRAN 小区标识（28 位长）组成的，即使在 PCI 干扰的情况下，它也可以独特识别小区。

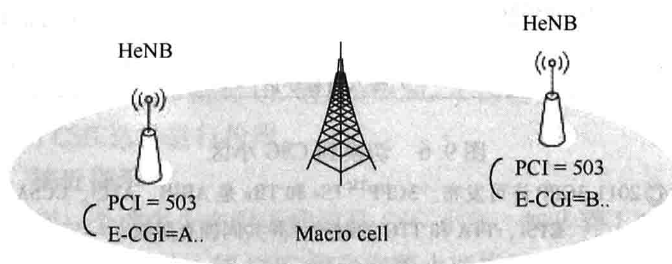


图 9.7 CSG 小区的 PCI 干扰

在源小区是否应该继续越区切换时，初步接入控制是由 UE 的 CSG 成员关系决定。

如果目标小区为 UE 的成员 CSG 小区，进一步切换应该被执行。但是，如果目标小区是一个非成员 CSG 小区，随后的越区切换程序，理想情况下应该被停止。如果源小区知道 CSG 小区的 UE 成员状态，源小区可以执行初步接入控制。

为了解决 PCI 干扰和实现初步接入控制，源小区要求 UE 提供相关 CSG 小区附加的信息。CSG 相关信息的要求是由测量配置发送的，并包含目标小区配置情况的 si-Re-

questForHO 的报告。对于要求 UE 获得全球小区标识的小区由相关目标 RAT 的测量实体中 ellForWhichToReportCGI 标示出来。

9.5.2.6 Step6：目标 CSG 小区附加信息的报告

当接收到测量配置的附加信息的请求时，通过从所示的相邻的 CSG 小区阅读有关的系统信息，UE 试图获取系统信息。测量配置中存在的 Si-RequestForHO 指示：在采集所需信息的过程中，UE 被允许暂停与服务小区的连接，这被称为“自主性间隙”[6]。需要注意的是自主性间隙对 E-UTRA 的 CSG 小区来说最大长度为 0.15s，对 UTRAN 的 FDD CSG 小区来说为 2s。下面显示了 UE 试图获得目标 CSG 小区信息的过程：

1）CSG 识别码：CSG 识别码识别 CSG。

2）CSG 成员状态（CSG-MemberStatus）：CSG 成员状态指示所述 UE 是否是 CSG 的成员。

3）目标小区的识别信息（CGI 信息）：这些信息包括全球小区识别和跟踪区域代码，源小区用它正确识别目标 CSG 小区，并准备越区切换到目标 CSG 小区。

获得上述所有信息后，UE 发送包括关于服务小区所需信息的 MeasurementReport 的消息。

9.5.2.7 Step7：接入控制

只有 CSG 成员的 UE 才能接入 CSG 小区。出于这个原因，基于 CSG 成员地位的接入控制对 CSG 小区切换来说是必不可少的。和 CSG 相关的接入控制应基于 UE 的 CSG 白名单和目标小区的 CSG 被执行。

在切换到 CSG 小区时，接入控制可以在源小区、MME 和目标 CSG 小区中进行。

如步骤 5 中所描述的，源小区可以执行基于 UE 报告的 CSG 成员状态的初步接入控制。如果 CSG 成员的状态指示的是一个成员 CSG 小区，那么源小区就向 MME 发送一条消息，通过在消息中包括全球小区识别和小区的 CSG ID，请求越区切换到 CSG 小区。需要注意的是在任何情况下，UE 或 MME 都不直接将 CSG 白名单信息传递给 CSG 小区，这是由于 UE 的 CSG 白名单被认为在用户隐私的管理下，因此应该不允许接入一个 HeNB 的客户端设备。

原则上，MME 为 CSG 有关的接入控制负责，因为 UE 的 CSG 订阅信息（包括 CSG 白名单）在 MME 中可以获得。在收到切换所需的信息时，包括源小区的 CSG ID，MME 进行接入控制。如果 UE 获接入验证，目标 CSG 小区中，MME 就可能通过 HeNB-GW，发送切换请求消息到目标 HeNB，并且在消息中包括 CSG ID。如果接入控制指示该 UE 是不可接入 CSG 小区的，那么 MME 向源小区回复切换准备失败消息。

目标 CSG 小区在接收到切换请求消息时，再次验证包括在切换请求消息中的 CSG ID 和本身的广播是否是相同的。这种对目标小区的验证是为了防止可以通过 MME 成员资格检查的仿造 CSG ID 的仿造 UE 尝试接入，但它和目标 CSG 小区的广播不同。在这样一个无效的情况下，目标 CSG 小区将拒绝切换。

9.5.2.8 Step8：执行切换

如果验证成功，则目标 CSG 小区准备越区切换的无线资源并且通过源小区向 UE 发送带有 MobilityControlInfo 的 RRC 连接重新配置消息作为越区切换命令（步骤 8）。该 UE 接收到切换命令，进行正常切换，如 3.8 节中所描述的行为（步骤 9）。

9.6 对混合小区的支持

9.6.1 动机

CSG 小区只允许 CSG 成员接入的这个性质，可能在宏服务区生成对 CSG 非成员 UE 的虚拟覆盖范围。如果没有比 CSG 小区更持续可获得的其他频率，并且 CSG 小区安装在一个和无线电波松散分离的区域，那么 CSG 小区附近非成员 UE 将被来自 CSG 小区的信号强烈干扰，并可能会遇到无线链路故障。

为了保留 CSG 小区的优点，同时避免 CSG 非成员 UE 的访问瓶颈问题，一种称为混合模式的新 HeNB 运作模式，在 R9 中被引入。在混合模式下运营的 HeNB 管理的小区被称为混合小区。CSG 成员与 CSG 非成员的 UE 都被允许接入混合小区，但依赖于 CSG 成员状态的 QoS 策略可能会有所不同。相比 CSG 非成员 UE，混合小区可能提供 CSG 成员 UEs 更高优先级的服务。

一种可能的混合小区应用案例是一个连锁咖啡馆在混合接入方式下部署其自身小区。连锁咖啡馆的 VIP 客户可以得到优先进入安装在咖啡馆的小区和享受具有较高的 QoS 服务，而其他人只被授予正常接入权利，没有任何特殊待遇。

9.6.2 特点

R8 版本中确定的支持 CSG 的一些特性已在 R9 版本中被修改成支持混合小区的某些功能，如下所述。

9.6.2.1 混合小区的接入方式

表 9.4 所示不同类型小区，包括混合小区广播的 CSG 识别信息的组合。混合小区设置 CSG 指示为 FALSE，允许对 CSG 非成员的 UE 的接入，但广播 CSG 识别码允许 CSG 成员的 UE 作为 CSG 成员进行接入。

9.6.2.2 混合小区的 PCI 范围

一个混合小区的 PCI 被设置为 CSG 小区保留的 PCI 范围之外的 PCI 值，这是为了确保 CSG 非成员的 UE 可以搜索混合小区，并进行小区重选的测量。

9.6.2.3 混合小区的移动性

引进的混合小区只对 UE 移动性行为有轻微影响。对 UE 来说，混合小区是一个成员 CSG 小区或一个非成员 CSG 小区，因此，UE 只需遵循每一种情况下已经定义的行为。

1）RRC_IDLE 的移动性：如果由混合小区广播的 CSG ID 在 UE 的 CSG 白名单，考虑到合适的 PLMN 需求，混合小区和成员 CSG 小区的小区重选处理应该是相同的，

表 9.4　HeNB 小区类型 UE 的接入方式识别（Release 9 and onwards）

HeNB 接入方式	小区类型	CSG 身份	CSG 指示	HNB 名	CSG 小区的分割信息
开放接入方式	标准小区	缺失	FALSE	缺失	可选
封闭接入方式	CSG 小区	存在	TRUE	存在	存在
混合接入方式	混合小区	存在	FALSE	存在	可选

因为混合小区是作为 UE 的成员 CSG 小区。这意味着，对于是 UE 成员的 CSG 小区来说，应当使用自动 CSG 搜索功能检测这样的小区，并且 CSG 小区的重选规则应适用。如果混合小区的 CSG ID 不在 UE 的 CSG 白名单里，那么混合小区应该被认为是一个普通小区，这时普通小区的重选规则应该适用。这意味着关于 CSG 成员的 CSG 小区的适用条件对混合小区来说是不适用的。

2）RRC_CONNECTED 的移动性：适用于成员 CSG 小区的 UE 行为的越区切换都适用于该 UE 是一个 CSG 成员的混合小区。例如，如果 UE 是一个混合小区中的成员，根据成员 CSG 小区确定的自动搜索功能应该能够检测出这个混合小区，并且如果检测出来，应该发送一个接近指示给混合小区。

9.6.2.4　混合小区的接入控制

图 9.8 示出了用于切换到混合小区的信令流。切换到混合小区的情况下的接入控

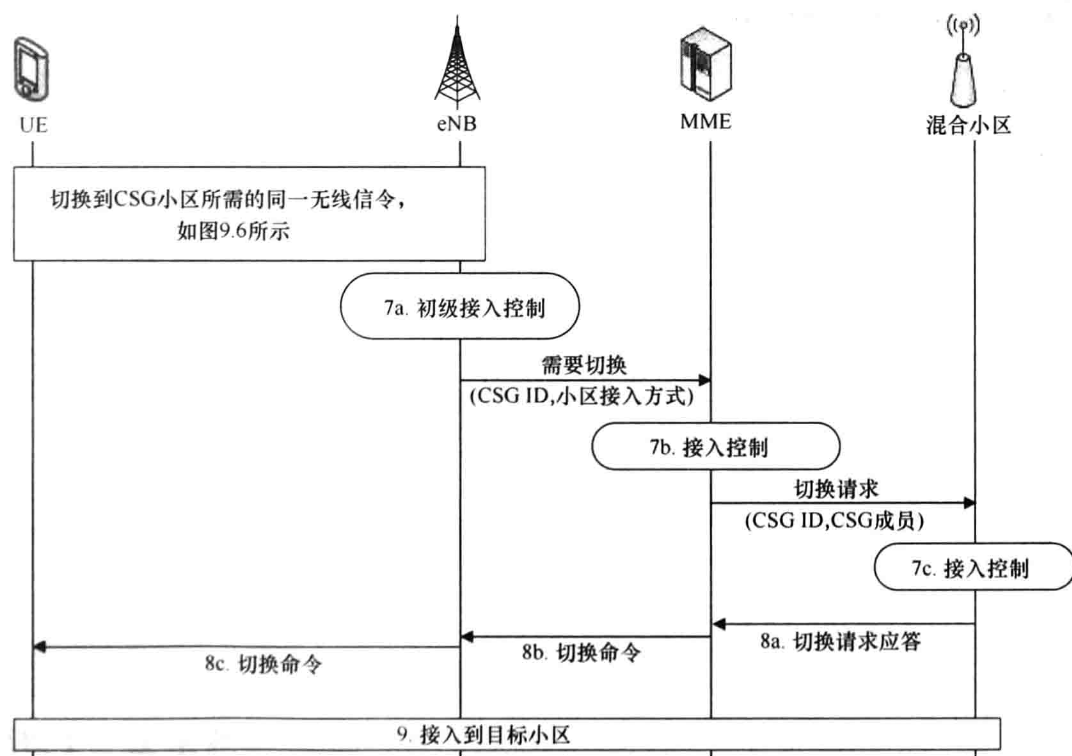


图 9.8　切换到混合小区

制和切换到的 CSG 小区是略有不同的。例如说，在完成步骤 7a 后，如果目标小区是一个混合小区，源小区在需要切换的信息中还包括一个目标小区的小区接入方式。在步骤 7b，MME 将该小区接入方式作为对混合小区的接入验证。然后，MME 设置接近小区的 UE 的 CSG 成员状态信息并将包含 CSG 成员信息的切换请求消息发送给混合小区。在步骤 7c 中，目标小区利用获得的切换请求消息中的 CSG 成员信息来决定 UE 应该作为 CSG 成员对待还是非成员来对待。

参考文献

1. Nokia, Siemens Networks, Ericsson, Motorola, Alcatel-Lucent, Samsung, Huawei, NEC, "RP-070257: Proposed Study Item on 3G Home Node B", 3GPP TSG RAN, meeting 35, Lemesos, Cyprus (March 2007)
2. 3GPP Technical Specification 21.905, "Vocabulary for 3GPP Specifications (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 24.285, "Allowed Closed Subscriber Group (CSG) list; Management Object (MO) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 22.220, "Service requirements for Home Node B (HNB) and Home eNode B (HeNB) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 23.830, "Architecture aspects of Home Node B (HNB)/Home enhanced Node B (HeNB) (Release 9)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
6. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
7. 3GPP Technical Specification 36.133, "Requirements for support of radio resource management (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第 10 章　公共警报系统

3GPP 网络支持公共警报系统（PWS）。它用于警示公众灾难事件。例如，当地震、海啸、飓风、森林火灾发生时，就可以用 PWS 通告民众在某个时间撤离受影响区域。另外，PWS 也可以用于通知人们儿童绑架急救（例如，安珀警报）。PWS 通知需要准确发送，并及时地传递给公众，以便公众能够做好充足准备。

不同的国家关于警报信息的传递有不同的要求，如本章参考文献［1］中所规定。因此，3GPP 网络为不同的国家提供了不同的警报系统。但是，3GPP 支持的警报系统使用了一个公共系统架构和公共通信过程。如表 10.1 所列，3GPP 根据相应国家的需求，将不同版本的警报系统标准化。

地震海啸警报系统（ETWS）是第一个为日本设计的警报系统，并在 R8 版本中标准化。它是基于日本重点关注地震和海啸的要求而设计的。它其中一个重要要求就是警报通知提供者应该能够为 UE 提供主要和次要通知。其中主要通知在拥塞的情况下，可以在通知区域中 4s 内传递给相应 UE。

商业移动报警系统（Commercial Mobile Alert Service，CMAS）是为美国设计的，在 R9 版本中标准化。它的设计满足 FCC 的要求。它其中一个重要要求就是多个通知可以通过收音机同时进行广播。依据这些要求，CMAS 提供了 3 种警报通知：统辖的，紧迫威胁，以及孩子绑架突发事件。

表 10.1　3GPP 支持的 PWS

告警系统	目标地区	版本
ETWS	日本	Release 8
CMAS	美国	Release 9
KPAS	韩国	Release 10
EU-ALERT	欧洲国家	Release 11

除了 ETMS 和 CMAS，还有韩国警报系统（KPAS），它是针对韩国的，在 R10 版本中标准化，而在 R11 版本标准化的 EU-ALTER 是针对欧洲国家的。KPAS 和 EU-ALTER 利用在 UE 和网络中定义的程序。CMAS、KPAS 以及 EU-ALTER 中传递给 UE 的警报信息都使用相同的方式。因此，KPAS 和 EU-ALTER 对 PWS 的影响较小。例如，一些信息标识符被分派到 KPAS 和 EU-ALTER[2]。

值得注意的是 PWS 通知的接收方可以是在 UE 端的任意方。但是，UE 需要依据区域法规要求来执行 PWS。

10.1　警报系统架构

图 10.1 描绘了支持 PWS 在演进的通用陆地无线接入网络（E-UTRAN）之上的警

报系统架构。这个警报系统架构适应于小区广播中心（Cell Broadcast Center，CBC）和小区广播实体（Cell Broadcast Entity，CBE），其中 CBC 和 CBE 是源于全球移动通信系统（GSM）和通用移动通信系统（UMTS）中的小区广播服务（Cell Broadcast Service，CBS）网络架构。CBC 取代了基站控制器（Base Station Controller，BSC）和无线网络控制器（RNC）的接口，提供了与移动管理实体（MME）之间新的接口，用于 E-UTRAN 之上的警报信息传递。

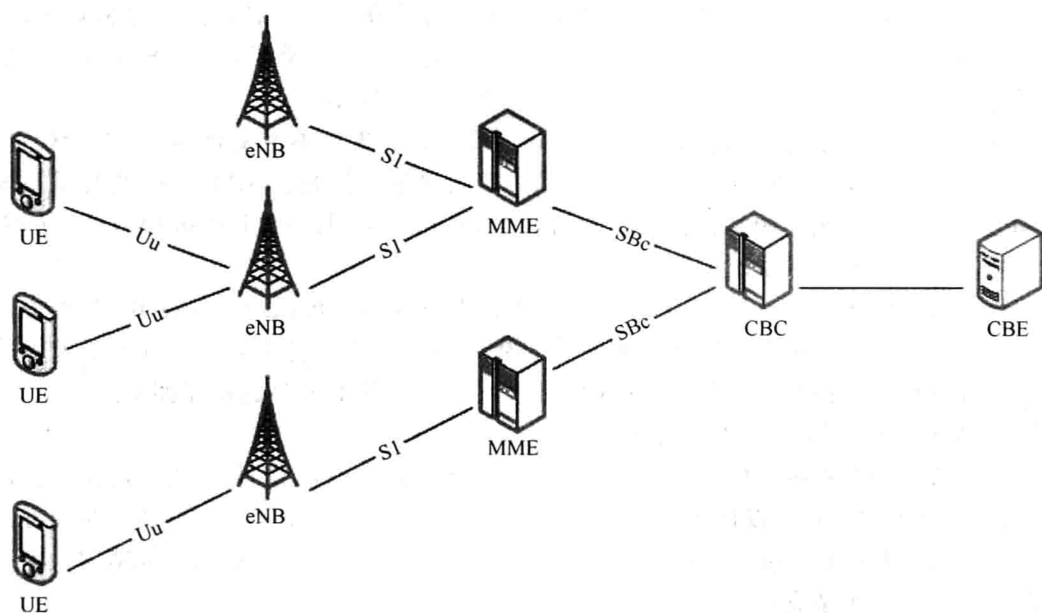


图 10.1　3GPP E-UTRAN 警报系统架构

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

CBE 是警报信息源。警报信息在 CBE 中格式化。CBE 能够给 CBC 发送关于警报信息的信息。

CBC 负责警报信息的管理。它给警报信息分派序列号并通过给 MMEs 发送警报信息来启动警报信息广播。CBC 和 MME 之间的基准点是基于服务器计算（Server-Based computing，SBc）接口。SBc 接口用于警报信息的传递和控制信息信令。

一个或多个 MME 和一个或多个 eNB 参与了警报信息的传递。MME 通过 S1 接口将从 CBC 接收到的警报信息转发给合适的 eNB。然后，eNB 通过广播接口的控制面板广播警报信息。

图 10.2 解释了警报信息传递的协议栈。基于服务器计算应用部分（SBc Application Part，SBc-AP）协议规定在本章参考文献［3］中，而 S1 接口应用协议（S1 Application Protocol，S1AP）协议规定在本章参考文献［4］中，并用于 CBC 和 MME 之间以及 MME 和 eNB 之间各自的警报信息的传递和控制信息信令。

无线资源控制（RRC）层用于传递 UE 和 eNB 之间各自的警报信息。它使用系统

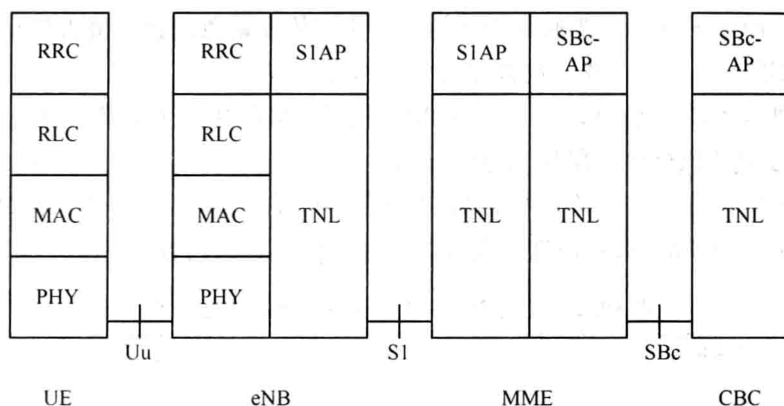


图 10.2　警报消息传递协议栈

信息将警报信息传达给一个或多个 UE。由于系统信息在广播控制信道（BCCH）上进行传送，警报信息将会途经分组数据汇聚协议（PDCP）层，利用无线链路控制（RLC）层的透明模式，并透明地经过媒体接入控制（MAC）层。因此，没有接入层（AS）安全应用，也没有层 2 附加在分发警报信息的负载。

10.2　警报信息

警报信息包含例如灾难事件的信息。当 UE 收到一个警报信息，它会通知相关事件（例如海啸）的使用者，例如展示警报信息。

一个警报信息包含下列一些信息元素：

1）信息标识符：这个信息是用来表示警报信息的源头以及类型。信息标识符的编码展示可参见本章参考文献［2］。

2）序列号：这个信息是用来识别一个拥有给定信息标识符的警报信息的改变。

3）警报类型：这个信息是用来表明灾难的类型，是地震还是海啸。它也可以表明如何展示这个警报信息给用户。

4）警报信息内容：这个信息用来对应用户信息。

5）数字编码组合：这个信息是用来通知 UE 关于应用信息特征和 UE 中信息处理的字母表以及编码方式。

单个的警报信息应该包括信息标识符和序列号。其中信息标识符和序列号都是用于识别警报信息的。eNB 可能多次反复地广播相同的警报信息，这样 UE 就可能多次收到相同的警报信息。在这种情况下，UE 可以通过使用信息标识符和序列号检测收到的警报信息的复制品。在 UE 端，复制品检测不是在 RRC 层执行，而是在 RRC 上面一层执行。RRC 仅仅是将拥有相关信息标识符和序列号的 PWS 通知转发到上层。

警报类型仅仅用于 ETWS 主要通知。警报类型仅向 UE 表明灾难相对应地震、海啸

或其他类型。由于 ETWS 主要通知的目的就是快速传递紧急信息，警报信息将作为 ETWS 主要通知进行传递，它并不包含相关事件的详细信息。

警报信息内容的大小可以从 1 ~ 9600B。但是，9600B 太大而不能通过无线传输。因此，RRC 层允许执行单个警报信息的分割。

在它们的警报信息中，不同的通知可能有不同的信息元素集合。表 10.2 展示了 ETWS 主要通知，ETWS 次要通知以及 CMAS 通知中包含的内容。

表 10.2 无线电上 PWS 通知广播的信息单元

PWS 通知	信息单元
ETWS 初次通知	消息标识符 序列号 警报类型
ETWS 二次通知	消息标识符 序列号 警报消息内容 数字编码方案
CMAS 通知	消息标识符 序列号 警报消息内容 数字编码方案

值得注意的是警报安全信息是有选择性地包含在用于警报信息安全的 ETWS 主要通知中。这个在 R8 版本中进行了规定。但是，3GPP 决定废除警报安全信息，因为它提供的安全级别较低。因此，在 ETWS 主要通知中，警报安全信息将不再有效。

3GPP 计划在 R11 版本或更后版本中使用更高的安全级别来加强 PWS 信息的安全性。这种加强的安全性将不仅仅用于 ETWS 主要通知，也可以用于其他类型的 PWS 通知。

10.3 警报信息在网络上的传递

警报信息通过 CBC，基于 SBc-AP 以及 S1AP 从 CBE 传递到 eNB，并传递到网络端的 MME。网络能够使用相同的协议更新或停止一个正在进行的警报信息。

下面的 SBc-AP 过程用于 CBC 和 MME 之间警报信息的传递：写替换警报过程、暂停警报过程。

下面的 S1AP 程序用于 MME 和 eNB 之间警报信息的传递：写替换警报过程、终止过程。

10.3.1 警报信息传递程序

写替换警报程序处在 SBc 和 S1 接口之上，用于开启或重写 PWS 通知警报信息的广播，如图 10.3 所示。

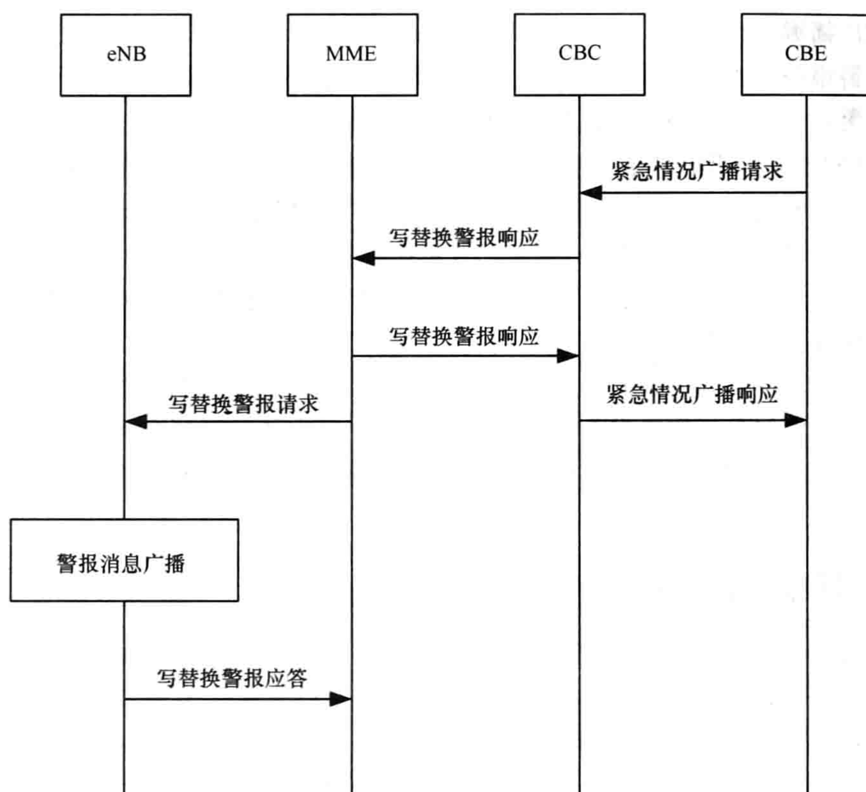


图 10.3 警报消息传递过程

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

基于来自于 CBE 的请求，CBC 通过给 MME 发送一条写替换警报请求信息来开启写替换警报程序。这个写替换警报请求信息可能包括一系列跟踪域。当 MME 收到来自于 CBC 的写替换警报请求信息，且一系列跟踪域可用时，MME 就将写替换警报请求信息转发 eNB，但这些 eNB 要属于列出的跟踪域。否则，写替换警报请求信息将转发给所有连接到 MME 的 eNB。

写替换警报请求信息包括的信息元素如表 10.2 所列。另外，基于从 CBE 接收到的信息，CBC 能够决定用于相关警报信息传递的下列信息元素。CBC 能够把这些元素包含在写替换警报请求信息中，但写替换警报请求信息是通过 MME 发送到 eNB 的。eNB 用 MME 给 UE 广播这些相关的警报信息：重复周期；广播请求的数量；警示区列表；并发警报信息指示器。

重复周期通知 eNB 相关警报信息广播的周期性。

广播请求的数量通知 eNB 对于相同警报信息应该广播的次数。eNB 根据重复周期和广播请求的数量定期地、重复地广播相关的警报信息。

警示区列表通知 eNB 相关的警报信息应该广播到哪里。它能够指出由运营商、跟踪区列表以及小区列表所定义的紧急区列表，eNB 使用警示区列表来决定相关的警报

信息应该广播哪些小区。

并发警报信息指示器通知 eNB 相关的警报信息是否应替换正在进行的旧警报信息。如果并发警报信息指示码没有存在于接收的写替换警报请求信息中，那么 eNB 应该用从 MME 接收的新警报信息来替换进行的旧警报信息。如果并发警报信息指示码存在于接收的写替换警报请求信息中，那么 eNB 就用正进行的旧警报信息来广播。

如果 eNB 连接到多个 MME，那么 eNB 可能接收来自于不同 MME 的相同的写替换警报请求信息。为了避免重复广播，eNB 通过检查相关警报信息中的标识符和序列号来检测相同警报信息的复制品。

eNB 响应写替换警报请求信息，然后将写替换警报响应信息发送给 MME。写替换警报响应信息可能包括广播完整区域列表，这个广播完整区域列表表示相关的警报信息在这些区已成功被广播。广播完整区域列表使用由运营商定义的应急区域列表，或跟踪区域列表，或小区列表。

10.3.2　警报信息取消程序

CBE 能够请求 CBC 阻止广播警报信息，例如，在相关灾难平息后。当这个要求被触发时，网络会启动 SBc 接口上的暂停警报程序，并启动接口 S1 接口上的终止程序来阻止广播警报信息，如图 10.4 所示。

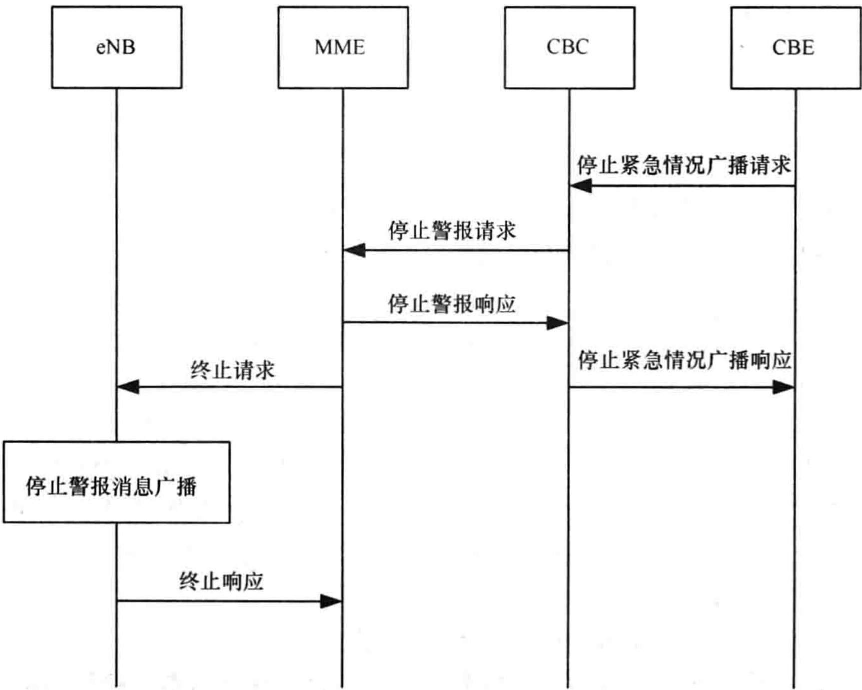


图 10.4　警报消息取消过程

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

10.4　警报信息取消程序

图 10.5 和图 10.6 描绘了在演进的通用陆地无线接入（E-UTRA）中 ETWS 通知和 CMAS 通知的代表性实例。基于来自于 MME 的写替换警报请求信息，eNB 开始在广播接口给 UE 广播相关警报信息。

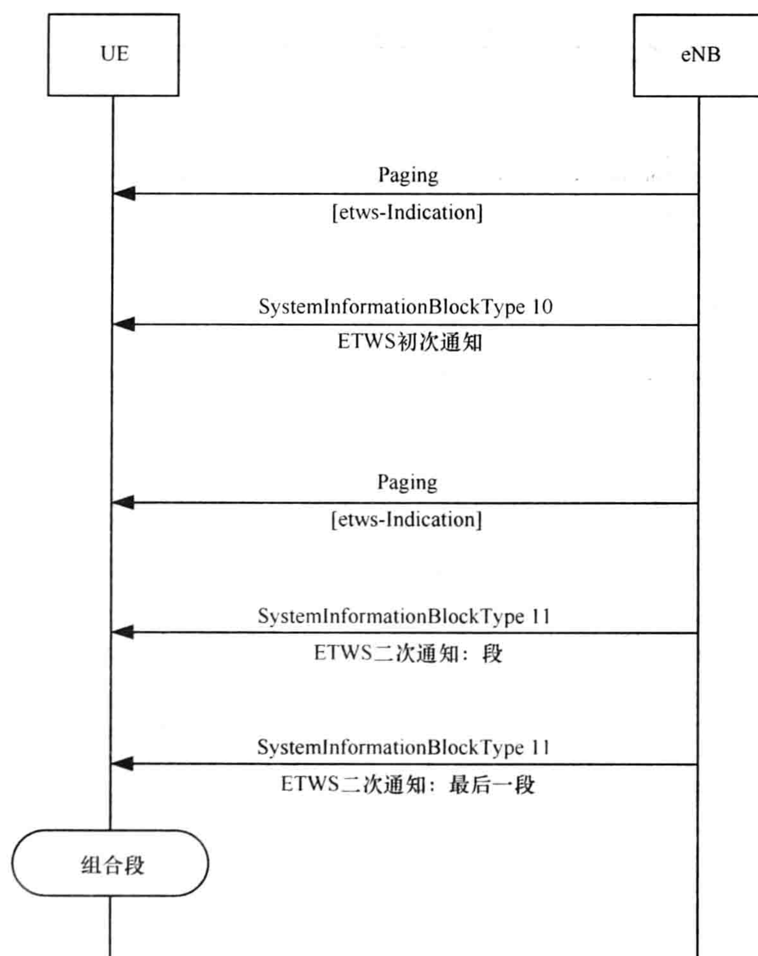


图 10.5　E-UTRA 中 ETWS 通知的例子

当 UE 能够接到 PWS 通知时，UE 允许接收 RRC_ IDLE 和 RRC_ CONNECTED 中的 PWS 通知。在 RRC_ IDLE 状态下，UE 支持在限制服务的可接收小区以及合适小区的 PWS 通知的接收。

ETWS 和 CMAS 的接收能力是独立的。换句话说，UE 应该拥有接收 ETWS 通知的能力，同时也应该拥有接收 CMAS 通知的能力。

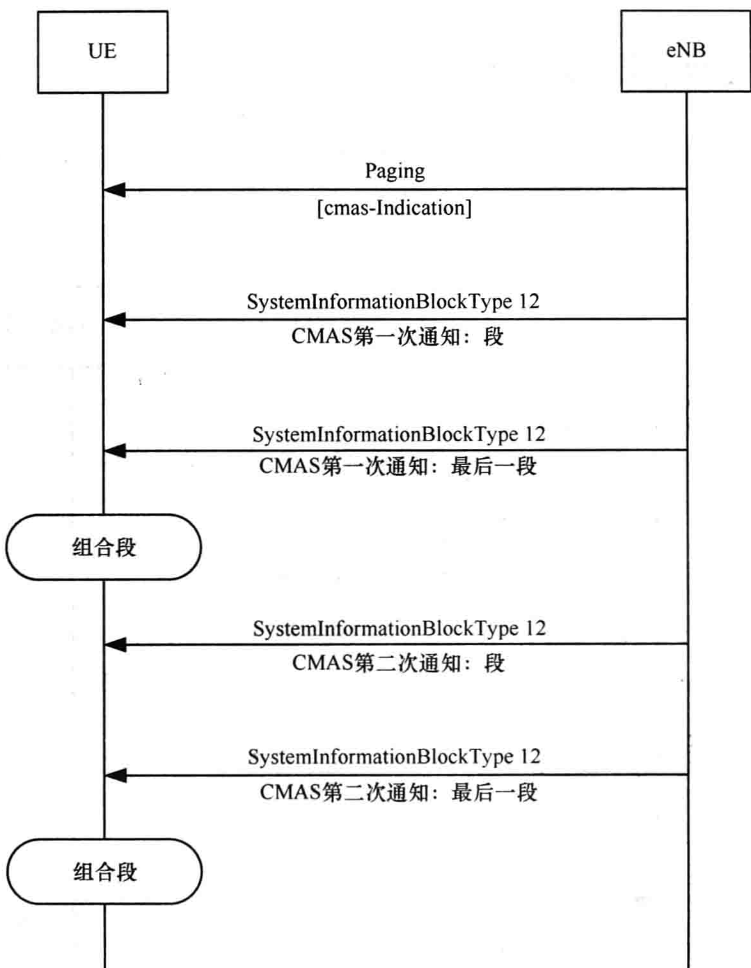


图 10.6　E-UTRA 中 CMAS 通知的例子

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

10.4.1　在系统信息中的 PWS 通知

警报信息不是在用户平面上传送，而是在广播接口上的控制平面上传送，因为 E-UTRAN除了多媒体广播多播服务（MBMS）相关逻辑通道外没有任何公共流量逻辑通道。

在广播接口上的控制面板上，E-UTRAN 使用映射到下行共享信道（DL-SCH）的 BCCH 系统信息来广播警报信息。PWS 通知使用不同类型的系统信息块用于 eNB 到 UE 之间的警报信息传递，如本章参考文献［5］所规定。

1）SystemInformationBlockType10：ETWS 主要通知包含在这个信息块中。

2）SystemInformationBlockType11：ETWS 次要通知包含在这个信息块中。

3）SystemInformationBlockType12：CMAS 通知包含在这个信息块中。

PWS 应该尽快传递到 UE，这是很重要的，因为它们关系到警报情况。特别是这条要求，即 4s 内将 ETWS 主要通知发送到 UE。不过，网络允许配置超过 4s 一个的值，但同样用于系统信息周期性广播的 BCCH 调整期长度也要变化。因此，如果将这样的值配置给多个小区，ETWS 主要通知在 4s 内传递这个要求就会得不到满足。

因此，BCCH 调整期这个概念不像其他的 S1B 应用到 S1B10、S1B12 和 S1B12。当一个新的 PWS 通知到达 eNB 时，eNB 允许在 BCCH 调整期的任何时间点及时更新 S1B10、S1B12 和 S1B12。但 eNB 不允许升级用于系统信息的 PWS 通知的 S1B1 的标签值。

10.4.2　PWS 通知在寻呼过程的指示性

eNB 通过使用寻呼程序来指示 PWS 通知广播给 UE。其中寻呼程序用于使 UE 快速警觉到 PWS 通知。当 UE 意识到寻呼信息的指示时，UE 立即收到 PWS 通知，这样能够使用户迅速地警觉。RRC_CONNECTED 中的 UE 在每个默认的寻呼周期内至少一次尝试读取寻呼信息，以检查寻呼信息中是否有指示。在 RRC_IDLE 中的 UE 在寻呼时，每个寻呼不连续接收（DRX）周期中要监测寻呼信息。因此，寻呼周期的长短将决定用户获得警报信息的快慢。

在寻呼信息中提供给 ETWS 通知和 CMAS 通知指示是不同的。寻呼信息包含了一个 etws-Indication，用于一个 ETWS 的主要通知和/或一个 ETWS 次要通知的指示广播，也包含了一个 cmas-Indication，用于 CMAS 通知的指示广播。

当收到的寻呼信息包含 etws-Indication 时，只有具有 ETWS 能力的 UE 能够快速接收系统信息中的 ETWS 通知，如图 10.5 所示。当收到的寻呼信息包含 cmas-Indication 时，只有具有 CMAS 能力的 UE 能够快速接收系统信息中的 CMAS 通知，如图 10.6 所示。对于寻呼信息的接收，UE 不需要等待下一个调整期再接收系统信息中的 PWS 通知，因为 UE 需要尽快获得警报信息。

10.4.3　警报信息的分割

当警报信息太大而导致不能在一个系统信息块中携带时，RRC 层将执行包含在 SystemInformationBlockType11 和 SystemInformationBlockType12 中的警报信息的分割机制。但是，SystemInformationBlockType10 中没有分割的应用，因为 ETWS 主要通知的大小足够小，都可以在一个系统信息块中携带。

当警报信息被分割为多个段时，这些警报信息段的大小应该要相同，且被广播时，这些段都具有相同的信息标识符和相同的序列号。因此，UE 在警报信息的每一次传输过程中丢失了警报信息的某个段时，UE 都能够快速在警报信息的转播中获得丢失的警报信息，并成功聚合收到的段以组成完整的警报信息。

需要注意的是不同的小区能够应用不同的段长度。这意味着 UE 不可能通过不同小区的段来组合相同的警报信息。

ETWS 不支持多条警报信息的并发广播。换句话说，小区允许广播最多一条 ETWS

主要通知和最多一条ETWS次要通知。当一条新的ETWS主要通知到达eNB时，如果它是有效的，那么它将替换原来的旧的ETWS主要通知。另外，当一条新的ETWS次要通知到达eNB时，如果它是有效的，那么它将替换原来的旧的ETWS次要通知。因此，当收到ETWS主要通知或ETWS次要通知的任何警报信息时，UE应该抛弃用于EWTS通知的旧信息的任何缓冲段。

与EWTS通知不同，CMAS支持来自于同一个小区的多条警报信息的并发广播，因为CMAS的其中一个需求就是在任何时候支持不同警报信息的并发传输。这意味着，如果分段技术用于多重CMAS通知，分段的不同集合将同时广播来自于同一个小区的不同警报信息。因此，具有接收CMAS通知能力的UE应该能够收集用于不同警报信息的并行传输的数据段。换句话说，当UE接收并汇编一条CMAS通知的同时，UE应该能够接收并汇编另一条CMAS通知的段。

应该注意的是，对于两个不同CMAS通知，当广播一条警报信息紧接着就广播另一条警报信息，那么这条警报信息的所有段应该在另一条CMAS通知警报信息广播前完成广播。一条CMAS通知的段中不能夹杂另一条CMAS的段。

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 22.268, "Public Warning System (PWS) requirements (Release 11)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
2. 3GPP Technical Specification 23.041, "Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS) (Release 11)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 29.168, "Cell Broadcast Centre interfaces with the Evolved Packet Core; Stage 3 (Release 11)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 36.413, "S1 Application Protocol (S1AP) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第 11 章　多媒体广播多播服务

多媒体广播多播服务（MBMS）是一个包括 E-UTRAN、UTRAN 和 GERAN 的由第三代合作伙伴项目（3GPP）系统提供的单点对多点的业务。MBMS 从一个网络实体向多个用户设备提供用户数据。MBMS 服务由手机运营商在单一载频上传送正常服务，例如语音通话和互联网。运营商可以提供多种 MBMS，例如电视转播、消息分发和文件下载。当需要电视转播时，MBMS 使运营商能够无需购买电视转播的授权频带就可以向用户提供电视转播服务。

E-UTRAN 从 R9 版本开始便支持 MBMS。3GPP 在 E-UTRANR8 版本时就开始了 MBMS 的标准化工作，但是由于在 R8 版本时缺乏讨论时间，在 R9 版本中才最终确定。MBMS 在 E-UTRAN 中也被称为 eMBMS（Evolved MBMS）。

相较于在 UTRAN，在 R9 版本中只有基本的操作被确定。例如，在 R9 版本中没有定义和 MBMS 相关的上行信息。MBMS 的特色在 R10 版本和 R11 版本中被加强。在 11.6 节中将介绍 MBMS 在 R9 版本之后的增强内容。

11.1　MBMS

在 3GPP 系统中，运营商可以提供 MBMS 用户服务，这被定义为向终端用户提供的 MBMS。MBMS 用户服务提供了多种媒体类型，例如文本、图片、视频、语音和音频。终端用户可以通过 MBMS 用户服务获得流媒体服务，包括文件下载服务、电视服务等等。

3GPP 系统使用 MBMS 承载服务提供 MBMS 用户服务。这被定义为在 3GPP 系统分组收发域的 IP 多播提供的服务。一个 MBMS 用户服务通过一个或多个 MBMS 承载服务在网络上传输。例如，终端用户可能被提供一个 MBMS 用户服务，如电视服务，而通过两个 MBMS 承载服务，一个提供音频，一个提供视频。

在 3GPP 系统中，MBMS 承载服务有两种模式：广播模式、多播模式。

对于在多播模式的 MBMS 承载服务，只有加入 MBMS 承载服务的用户设备能够接收到服务。因此，当用户设备对 MBMS 承载服务有兴趣时，用户设备需要加入 MBMS 承载服务来成为多播组中的一员。多播组是对 MBMS 承载服务感兴趣的一组用户设备。对于一个已经加入的用户设备，与特定 MBMS 承载服务相关的用户设备确认信息在网络上建立。然后，当用户设备执行小区切换时，用户设备确认信息在网络侧从一个节点转移到另一个节点。在多播模式下提供 MBMS 承载服务时，与 MBMS 承载服务相关的用户设备确认信息的连接和管理对于网络来说有着相当大的复杂度。

对于在广播模式的 MBMS 承载服务，用户设备无需加入便可以接收到。广播模式

较多播模式简单一些，因为一些在多播模式中所需的信号流在广播模式中是不必要的。但是，在广播模式中，网络可能不知道对 MBMS 承载服务感兴趣的用户设备在哪里。因此，网络可能盲目地广播 MBMS 承载服务，这浪费了无线和网络资源。网络本可能避免广播一些特定的 MBMS 承载服务，例如在农村中一些中没有观众的地方。如果在那个区域没有广播，一个特定的用户设备突然进入那个区域时将无法接收到感兴趣的 MBMS 承载服务。结果是，广播模式将时常降低用户体验。

GERAN 和 UTRAN 同时提供广播模式和多播模式。E-UTRAN 只提供广播模式，它不提供多播模式的主要原因是要简化 MBMS 操作。

以下的章节解释了 EPC 和 E-UTRAN 是如何提供 MBMS 的。为了简便，在以下的章节中，术语“MBMS”的意思是 MBMS 承载服务。当想要表达 MBMS 用户服务时，将明白的表述为“MBMS 用户服务”。

11.2 MBMS 的结构和功能

以下的功能实体被引入 EPC 和 E-UTRAN 来支持 MBMS：

1）广播多播服务中心（Broadcast-Multicast Service Center，BM-SC）

2）多小区/多播协调实体（Multi-cell/multicast Coordination Entity，MCE）

3）MBMS 网关（MBMS Gateway）

在 3GPP 系统中，BM-SC 提供一个 MBMS 传输源头的服务。BM-SC 是一个提供和分发 MBMS 用户服务的功能实体。它初始化一个与 MBMS 用户服务相关的 MBMS 承载服务。BM-SC 使用“MBMS 会话控制信号”来开始或停止 MBMS 承载服务的会话，例如 MBMS 会话开始或 MBMS 会话终止。

此外，BM-SC 可以初始化一个服务申明。服务申明将告知用户将要提供的 MBMS 用户服务。服务申明可以通过 SMS、PUSH、IETF 协议，例如 HTTP 等来实现。

MCE 在 MBMS 会话控制信号中起到权限控制和无线资源分配的作用。当一个 MBMS 承载服务的新会话开始后，MCE 将考虑可用的无限资源以及 MBMS 承载服务的优先级来决定是否为该会话建立一个无线承载。在 R10 版本之后，MCE 也控制着 MBMS 计数过程。（详见 11.6.1 节）

此外，MCE 决定 MBMS 承载服务的无线配置，之后将配置信息发送给 eNB，而 eNB 再通过 RRC 信息将它们发送给用户设备。MCE 应该对所有广播同样 MBMS eNB 的 RLC 层、MAC 层和物理层做出同样的配置。

MBMS 网关在 BM-SC 和 eNB 之间传送 MBMS 用户数据，并且在 MME 和 eNB 之间进行 MBMS 会话控制。MBMS 网关使用 IP 多播协议来向加入 MBMS 的 eNB 传送用户数据。MBMS 网关是向 eNB 进行 IP 多播分发的源头，并且向加入 MBMS 的 eNB 分配 IP 多播地址。

MBMS 中其他的网络实体是如下新的参考点，如图 11.1 所示。

1）M1：在 MBMS 网关和 eNB 之间作为用户平面，用于传送用户数据的参考点。

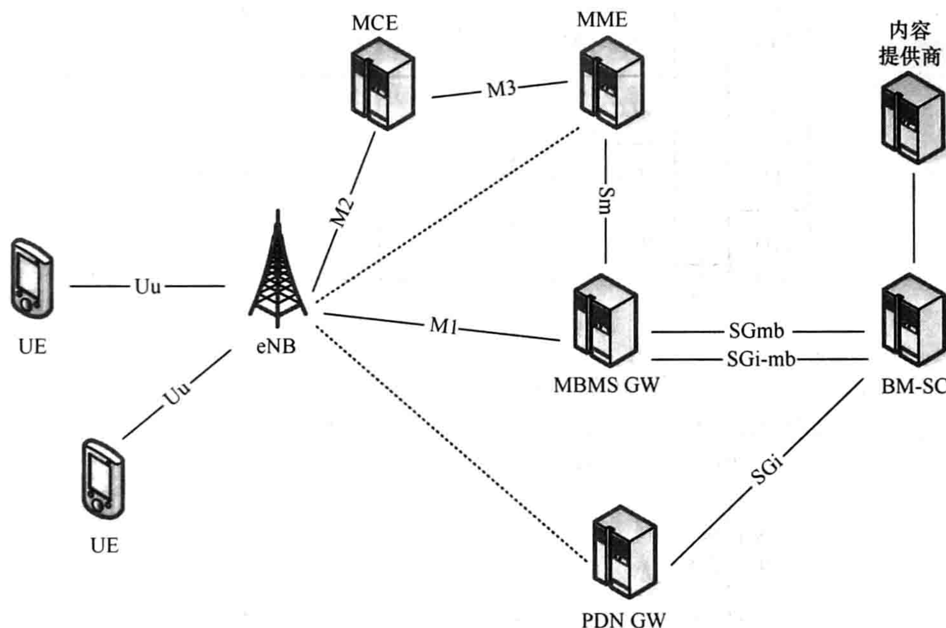


图 11.1　E-UTRAN 的 MBMS 参考架构

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

2）M2：在 MCE 和 eNB 之间作为控制平面的参考点。

3）M3：在 MME 和 MCE 之间作为控制平面的参考点。

4）Sm：在 MME 和 MBMS 网关之间作为控制平面的参考点。

5）SGi-mb：在 BM-SC 和 MBMS 网关之间作为用户平面，用于传送用户数据的参考点。

6）SGmb：在 BM-SC 和 MBMS 网关之间作为控制平面的参考点。

7）SGi：在 BM-SC 和 PDN（公共数据网络）网关之间作为用户平面，用于在 EPS 承载上实现 MBMS 用户服务的参考点。

MBMS 控制平面的协议栈如图 11.2 所示。M2AP 用来在 eNB 和 MCE 间控制 MBMS 相关的信号流。M3AP 用来在 MCE 和 MME 之间控制 MBMS 相关的信号流。M2AP 和 M3AP 通常用作 MBMS 会话控制信号的通信，例如会话开始和会话终止。

MBMS 用户平面的协议栈如图 11.3 所示。IP 多播协议在 M1 接口上从 MBMS 网关向 eNB 传送 MBMS 用户数据。此外，MBMS 同步（SYNC）协议用来从 BM-SC 向 eNB 传送 MBMS 用户数据

对于 SYNC 协议，在本章参考文献［3］中明确讲到，BM-SC 包括同步相关的信息，例如在 SYNC PDU 中传送 MBMS 用户数据的时间戳。当 BM-SC 设置了一个时间戳，BM-SC 就会考虑从 BM-SC 到 eNB 的传送延迟并处理 eNB 中的延时等。eNB 用在 SYNC PDU 中包含的时间戳在无线接口上进行多小区同步传输。当 SYNC 协议要传送超

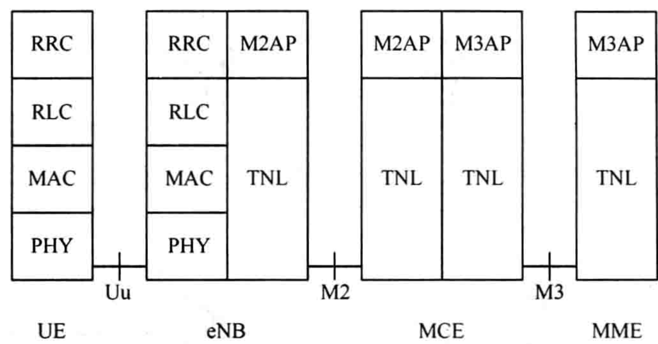


图 11.2 MBMS 控制平面协议栈

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

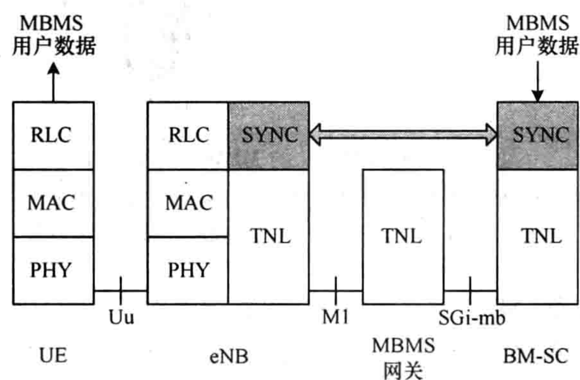


图 11.3 MBMS 用户平面协议栈

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

过 eNB 能够在无线接口上传送的 MBMS 用户数据时，允许 eNB 丢弃部分 MBMS 用户数据。

11.3 MBMS 单频网传输

在无线接口中可以以单点到多点的方式提供 MBMS。单点到多点传输可以通过 MBSFN 传输。MBSFN 是一个由多个小区同时传送相同波形的同时联播技术。所有在 MBSFN 传输中的小区都必须在时间上同步并且在同一时间向用户设备分发同样的内容。

多小区进行的 MBSFN 传输在用户设备端合并后就和单个传输一样。对 MBSFN 传输的合并给了用户设备一个分集增益，而分集增益在小区边缘时显得尤为重要。这是由于用户设备的接收性能可能由于弱的信号强度而下降。这种优点仅在多小区同步传送相同内容时体现。然而，当只有一个小区内有用户接受 MBMS 时，E-UTRAN 并不阻

止只由单个小区提供 MBSFN 传输。

MBMS 在一个或多个有非 MBMS（如单播）的载波上传输。在载波中，MBMS 和非 MBMS 在不同的子帧中提供。E-UTRAN 不支持只提供 MBMS 而排除非 MBMS 的 MBMS 专用载波。

和非 MBMS 传输不同，MBMS 应只能通过一个特定类型的子帧，称作“MBSFN 子帧”来传输[4]。MBSFN 传输只能在这些 MBSFN 子帧中发生。所有加入 MBSFN 传输的小区都必须配置 MBSFN 子帧来提供 MBMS，所有小区都应该配置相同的 MBSFN 子帧来保证同步传输。

注意到 MBSFN 不仅可以用来进行 MBMS 传输也可以用来进行非 MBMS 传输，例如中继反馈传输和单播传输。直到 R9 版本，用户设备不会将单播传输分配到 MBSFN 子帧中，但是从 R10 版本开始，一些用户设备将支持在 MBSFN 子帧中接收单播传输，如在本章参考文献［5］中明确的。

多小区的 MBMS 同步传输在由一个或多个小区的 MBSFN 区域中实现，如图 11.4 所示。同属一 MBSFN 区域中的小区应该在同步后加入 MBSFN 传输，来传输 MBMS 控制信息和 MBMS。不同的 MBSFN 区域可以重叠，因此单个小区可以属于多个 MBSFN 区域，上限为 8。

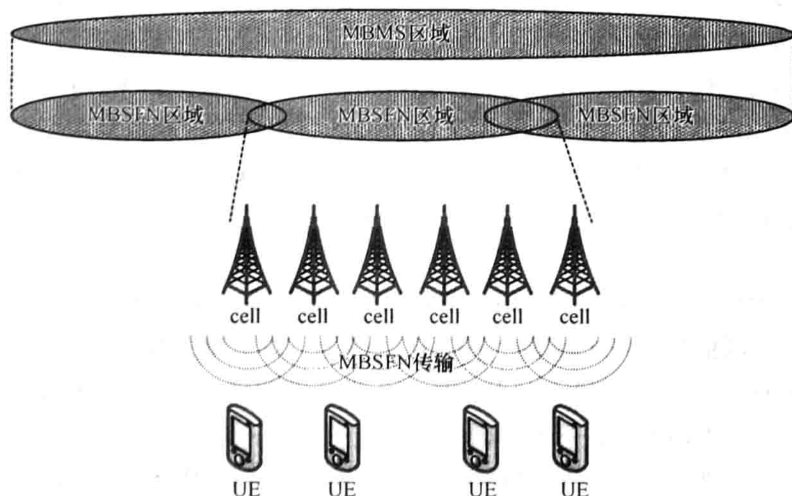


图 11.4　MBSFN 区域上的 MBSFN 传输

不同的小区可以有不同的 MBSFN 区域组合。例如，一个小区可能覆盖 MBSFN 区域#1 和 MBSFN 区域#2，但另一个小区可能覆盖 MBSFN 区域#2 和 MBSFN 区域#3。每个小区都通过系统信息告知用户设备 MBSFN 子帧的配置信息。

在 MBSFN 区域的顶层，网络定义一个广播特定 MBMS 的 MBMS 区域。一个 MBMS 区域由一个或多个互相通信的 MBSFN 区域组成。BM-SC 告知网络实体与会话通信的 MBMS。

网络实体可以使用MBMS区域来决定相应的MBMS应该被分配到网络侧上哪个eNB中。

11.4 MBMS的无线协议

11.4.1 MBMS的第一层和第二层

E-UTRAN在无线接口上为MBMS提供两个单点到多点的逻辑信道：多播控制信道（Multicast Control Channel，MCCH）和多播业务信道（Multicast Traffic Channel，MTCH）。

MCCH存在于无线接口的控制平面中用户设备和eNB之间。这个逻辑信道是用来广播MBMS相关的与MBSFN区域通信的RRC信息。eNB的RRC层基于从MCE获取的MBMS控制信息创建RRC信息。

MCCH映射到一个传输信道，称为多播信道（MCH）。而多播信道映射到一个物理信道，称为物理多播信道（PMCH）。当MCCH映射到MCH时，对应一个MCH只存在一个MCCH。

MTCH存在于无线接口的用户平面中用户设备和eNB之间。这个逻辑信道用来广播与MBMS服务相关的MBMS用户数据。eNB使用SYNC协议通过MBMS网关使用从BM-SC中接收用户数据。

MTCH也映射到MCH，MCH也映射到PMCH。MBMS服务和MTCH是一一映射的。多个MTCH可以映射到同一个MCH用来在MBMS数据传输中获取复用增益。

MBSFN区域和MCCH是一一映射的。因此，E-UTRAN提供不同的MCCH给不同的MBSFN区域。如图11.5所示，当多个MBSFN区域重叠时，一个小区必须提供多个MCCH。不同的MCCH应该在不同的MBSFN子帧中广播。

一个支持MBMS的小区使用PDCCH来通知用户设备“MCCH信息”的变化。这就是说，MBMS控制信息在一个或多个MCCH上递送。对于MCCH信息变更通知，MBMS无线网络临时标识（M-RNTI）在PDCCH上传送。即使多个MBSFN区域可以在一个小区中重叠，在E-UTRAN中，一个小区中也只有一个单一的M-RNTI在PDCCH上传送。携带M-RNTI的PDCCH也表明了和MCCH信息变化相关的MBSFN区域。

在PDCCH上使用M-RNTI的意图是使用户设备在接收到感兴趣的MBMS会话的用户信息之前，可以只监测PDCCH来节省电池消耗。一旦UE开始接收会话的用户数据，UE就不断在MTCH的上接收会话的用户数据，同时在MCCH上接收与会话相关的MCCH信息。因此，eNB只有当MCCH信息变化时，例如会话开始或计数请求时才在PDCCH上指明M-RNTI。

如图11.6所示，PDCP层对于MCCH或MTCH是不适用的。因此，报头压缩和AS安全并不支持MCCH信息和MBMS用户数据。

RLC层为MCCH和MTCH配置无应答模式（UM）。重排序对于为MCCH和MTCH配置的RLC实体是不适用的，因为HARQ不用于在MCCH和MTCH传输数据。

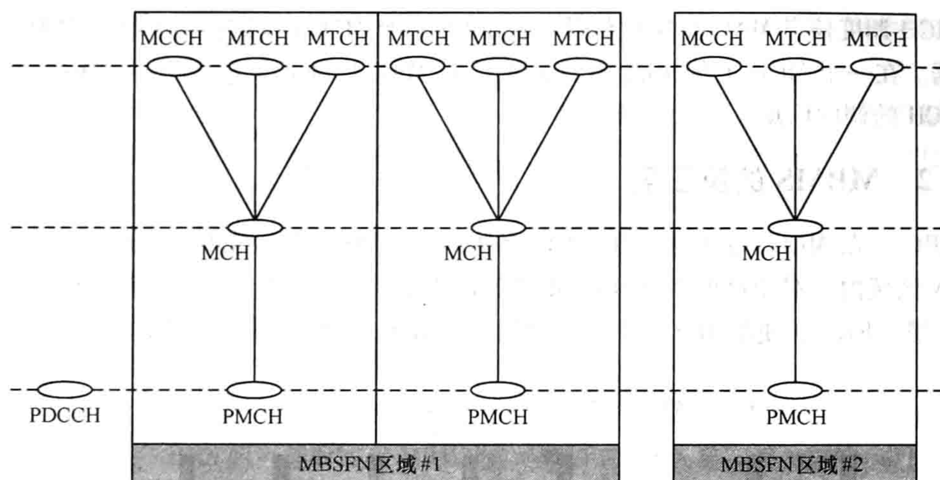


图 11.5　一个小区多 MBSFN 的 MBMS 信道映射关系举例

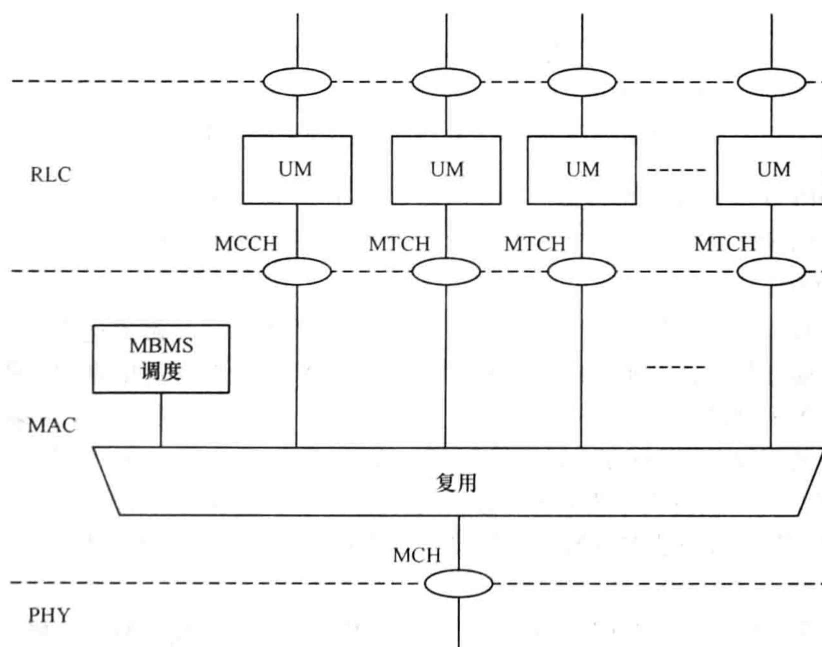


图 11.6　eNB 边缘的 MBSFN 区域层 2 模型

在 MAC 层中，eNB 可以复用一个或多个 MTCH 和使用一个 MCCH。在 MAC PDU 中的 LCID 字段表明相应的部分是供 MCCH 还是供 MTCH 使用的。对于 MCCH 和 MTCH，eNB 中的 MAC 层到物理层对于一个 TTI 只提供最多一个传输块（即一个 MAC PDU）。

MCH 调度信息 MAC 控制元素用于通知 UE 每个 MTCH 应该在何时调度 MBMS 的用户数据。在一个 MCH 上传送的 MCH 调度信息 MAC 控制元素包括在一个 MCH 传送的对 MTCH 的调度信息。

11.4.2 MBMS 的第三层

RRC 层在 MCCH 上广播 MCCH 信息来告知用户设备 MBMS 控制信息。在每个 MBSFN 区域内，对于每个 MCCH 的 MCCH 信息被周期性地广播。对于 MCCH 信息的周期性广播，RRC 层使用 MCCH 重复周期的 MCCH 修改周期的概念，如图 11.7 所阐述。

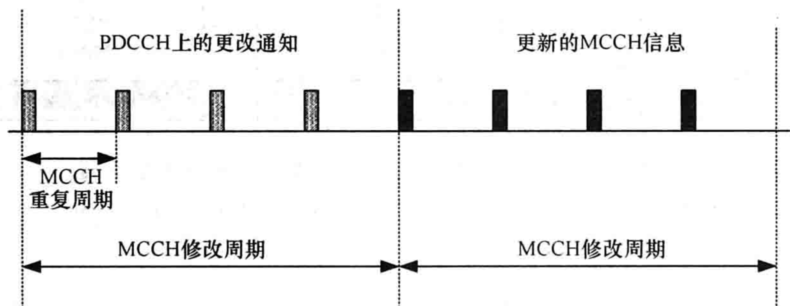


图 11.7 MCCH 信息更新

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

为了 MCCH 信息的可靠传输，eNB 中的 RRC 层在每个 MCCH 重复周期中重复地广播相同内容的 MCCH 信息。eNB 在 MCCH 修改周期后才可以开始传输更新的 MCCH 信息，就像 BCCH 系统信息。

当 MCCH 信息需要被改变时，eNB 在更新的 MCCH 信息开始传送之前，在 MCCH 修改周期中通过指示在 PDCCH 上的 M-RNTI 通知用户设备 MCCH 信息的变化。PDCCH 指示的 M-RNTI 通过 8bit 来告知与用户设备 MCCH 信息变化相关的一个或多个 MBSFN 区域。不同的位对应不同的 MBSFN 区域。每个位指示与 MCCH 信息变化相关的 MBSFN 区域。eNB 设置位来告知 UE 会话的开始和一个正在进行的计数过程。PDCCH 指示的 M-RNTI 在最短的 MCCH 修改周期上周期性地传送，并且对于所有 MBSFN 区域是通用的。

MCE 告知 eNB 关于 MCCH 的配置信息例如 MCCH 重复周期，MCCH 修改周期，分配给 MCCH 的 MBSFN 子帧和 MBSFN 子帧上的调制和编码方案。MCE 可以配置多个 MCCH，一个 MCCH 对应一个 MBSFN 区域，用于 eNB 中的 MBSFN 传输，通过使用如 M2 启动过程的 M2AP 的信令过程。

RRC 层通过系统信息广播 MCCH 的配置信息。MBMS 服务使用的 SIB——SIB13，用于通知 UE 相关的 MCCH 配置。SIB13 在 DL-SCH 上从一个小区播出，像正常的 SIB 类型。因此，没有将 MBSFN 传输应用到 SIB13。SIB13 还包含 PDCCH 上通知的配置。

SIB13 之外，RRC 层提供基于从 MCE 接收的 M2AP 信令的 MCCH 信息。可以使用

下面的下行链路的 RRC 消息，得到 MCCH 信息：MBSFNAreaConfiguration 消息和 MBMSCountingRequest 消息。

该 MBSFNAreaConfiguration 消息包含了大部分的 MCCH 信息，除了计数的相关信息。UE 需要接收 MBSFNAreaConfiguration 消息用来从一个单一的 MBSFN 区域接收一个或多个 MBMS。不同的 MBSFNAreaConfiguration 消息广播针对不同的 MBSFN 区域。

用于发起 MBMS 计数过程 MBMSCountingRequest 消息包含计数的相关信息。针对不同的 MBSFN 区域应该播出不同的 MBMSCountingRequest 消息。应当指出的是从 R10 版本开始支持 MBMS 计数过程。

当 UE 支持 MBMS 时，UE 将从属于 MBSFN 区域的一个小区接收 SIB13 来配置该 MBSFN 区域的 MCCH。UE 在以下情况配置 MBSFN 区域上的 MCCH，例如当 UE 对来自一个 MBSFN 区域的 MBMS 感兴趣时或对 MBMS 感兴趣的 UE 进入另一个 MBSFN 区域时。

当进行了相同的 MBSFN 子帧配置时，多个相邻小区可能有助于这个 MBSFN 传输。因此，当 UE 在 MBSFN 区域内的不同小区之间移动时，UE 可以继续接收 MCCH 而无需重新配置，除非 eNB 重新配置了 MCCH。

应该指出的是，当 UE 能够接收 MBMS 且对 MBMS 感兴趣时，UE 无论在 RRC_IDLE 还是 RRC_CONNECTED 状态都会被允许接收 MCCH 信息和 MBMS。

11.5　MBMS 过程

在一般情况下，网络按以下顺序提供给一个或多个 UEMBMS：

1）当 MBMS 的会话开始时，eNB 加入 MBMS，然后发送 MBMS 数据到一个或多个 UE。

2）会话启动时，UE 接收到与 MBMS 有关的 MCCH 信息，然后建立与无线载体有关的称为 MBMS 点对多点无线承载（MRB）的 MBMS。

3）当 eNB 发送会话到一个或多个 UE 时，该会话可被更新，例如，服务区的更新。

4）当 MBMS 的会话停止时，eNB 离开 MBMS 并且停止发送 MBMS 数据到一个或多个 UE。

5）当 MBMS 的会话停止时，客户端接收更新的 MCCH 信息，然后释放与 MBMS 有关的 MRB。

11.5.1　MBMS 会话开始

对一个 MBMS，BM-SC 通过发送会话开始请求消息来初始化 MBMS 会话开始过程，如在图 11.8 中示出。MBMS 会话开始过程触发一个或多个 eNB 加入有关的 MBMS，并且 eNB 开始发送用户数据到 UE。

在 MBMS 会话开始过程之前，BM-SC 给支持 MBMS 的 UE 提供 MBMS 申明，正如在本章参考文献［2］中明确的。MBMS 申明使得对 MBMS 业务感兴趣的 UE 准备接收 MBMS。因此，在无线接口上一个会话开始时，有兴趣的 UE 在 MTCH 准备接收 MBMS

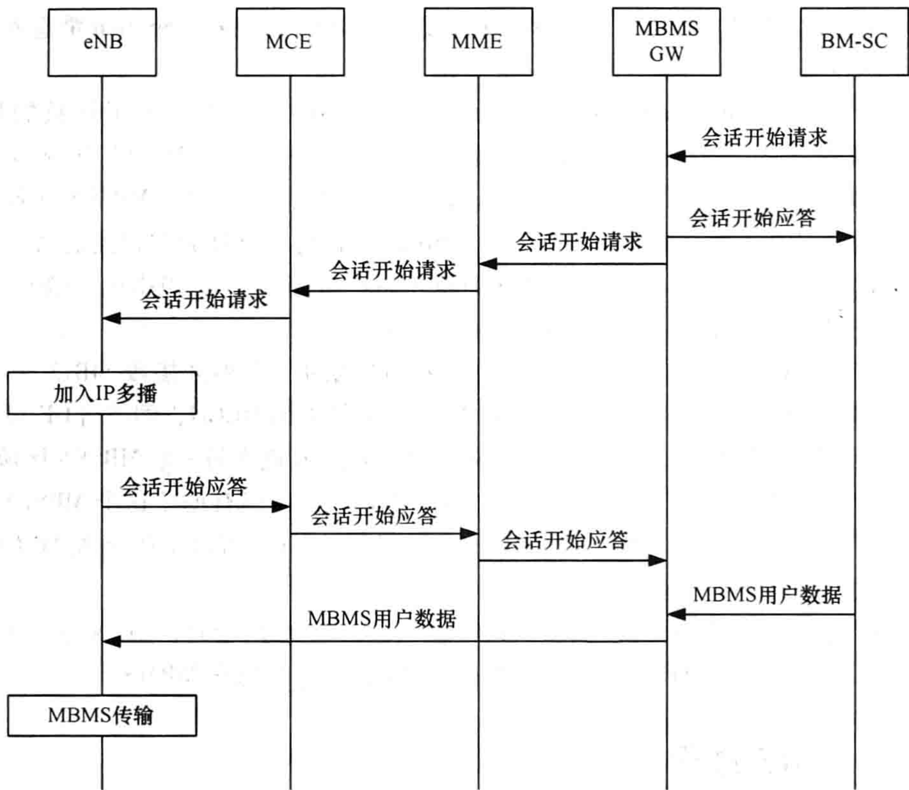


图 11.8 MBMS 会话开始

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

用户数据。

当开始给 MBMS 承载服务传输 MBMS 会话时，BM-SC 分配一个临时移动组标识(TMGI)，用于识别 MBMS 承载服务和一个会话 ID 来区分每一个 MBMS 会话。BM-SC 也决定会话的属性，例如 QoS 信息和 MBMS 会话将被传输到的 MBMS 服务区，然后将它们放入 MBMS 会话开始消息中。

当会话开始时，由 MBMS 网关分配的 IP 多播地址通过过会话开始请求消息被传递到相应的基站。接收会话开始请求消息后，eNB 应该加入服务，使能够从 MBMS 网关接收 MBMS 用户数据。然后，eNB 建立无限资源，例如 MBSFN 子帧的配置信息，为传输 MBMS 用户数据到 UE 做好准备。

在 MBMS 会话开始过程后，BM-SC 开始通过 MBMS 网关发送 MBMS 用户数据到 eNB。BM-SC 可以对 MBMS 用户数据采用前向纠错。MBMS 网关使用 IP 多播协议来给加入服务的 eNB 前向传送接收到的用户数据。

BM-SC 应该在发送 MBMS 用户数据前等待一段时间以确保 MCE 和 eNB 已经准备好了该会话的 MBSFN 传输。为了做好进行 MBSFN 传输的准备，eNB 需要在 MCE 的控制下配置必要的无线资源和信道，并且广播更新后的映射到这个会话的 MCCH 信息。

在从 MBMS 网关接收到 MBMS 用户数据后，eNB 在 MTCH 上广播为这个会话配置好的 MBMS 用户数据。然后，UE 如果对这个会话感兴趣，就可以在 MTCH 上接收 MBMS 用户数据。

11.5.2　MCCH 信息获取和 MRB 配置

当 MBMS 会话开始时，eNB 在 MCE 的控制下协调进行 MBSFN 传输。MCE 发送 MBMS 调度信息消息给 eNB 来进行这种协作，如图 11.9 中示出。如在本章参考文献［6］中明确的，此消息包括更新的 MCCH 信息，例如与会话相关的 MRB 配置和指示 eNB 应在何时应用更新的 MCCH 信息的 MCCH 更新时间。

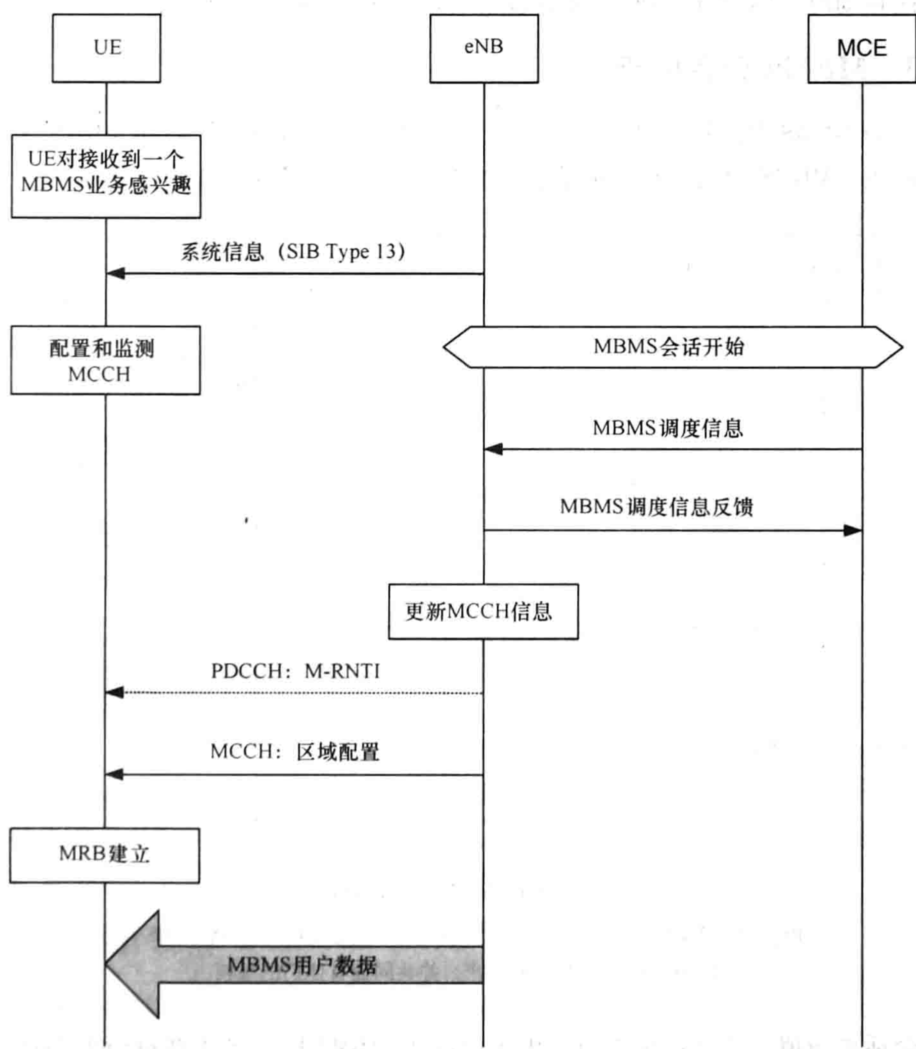


图 11.9　MCCH 信息获取和 MBMS 用户数据接收举例

当会话启动时，eNB 接收 MBMS 调度信息后在 PDCCH 上指示了 M-RNTI 在 MCCH 修改周期中将信息传递给 UE。然后，eNB 根据 MCE 所指示的 MCCH 更新时间在下一个 MCCH 修改周期更新在 MCCH 上广播的 MCCH 信息。

如果一个支持 MBMS 的 UE 对 MBMS 感兴趣，它就使用在 SIB13 中包含的配置信息持续监测 PDCCH。当 PDCCH 指示了一个 MBSFN 区域中关于 MBMS 的 MCCH 信息变化时，UE 接收 MCCH 来获得该 MBSFN 区域的更新 MCCH 信息。

然后，UE 用更新后的 MCCH 信息建立一个与会话相关的 MRB。MRB 建立时，与 MRB 相应的 MTCH 的 PMCH 也被配置了。

MRB 建立后，UE 可以从 MTCH 接收 MBMS 用户数据。当 UE 在一个 MBSFN 区域内跨小区移动时，UE 可以不间断地通过已建立的 MRB 接收用户数据。

11.5.3 MBMS 会话更新

当一个 MBMS 会话正在进行时，BM-SC 可以修改会话属性，例如 MBMS 区域。对于这种修改，MBMS 会话更新请求消息将被送到 MCE 和 eNB，如图 11.10 所示。

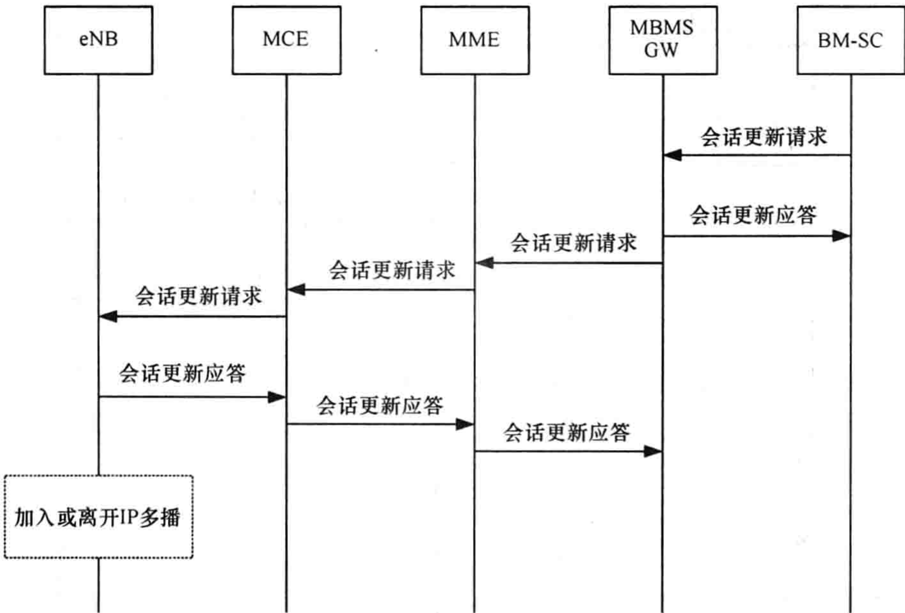


图 11.10 MBMS 会话更新

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

当会话更新请求消息被接收时，由于修改了 MBMS 服务区正在进行的会话，以前加入 MBMS 业务的 eNB 可以离开服务，或者新 eNB 加入正在进行的会话服务。

如果一个 eNB 离开服务，eNB 就会释放无线资源和信道的配置。这将触发 UE 释放有关的 MRB。如果一个新的 eNB 加入服务，则 eNB 就为该会话配置无线电资源，并且

建立信道。这将触发 UE 建立相关的 MRB。

11.5.4　MBMS 会话终止

当某个 MBMS 的会话没有 MBMS 用户数据传输时，BM-SC 将终止会话。在这种情况下，一个 MBMS 会话终止请求消息被发送到 MCE 与 eNB，如图 11.11 所示。

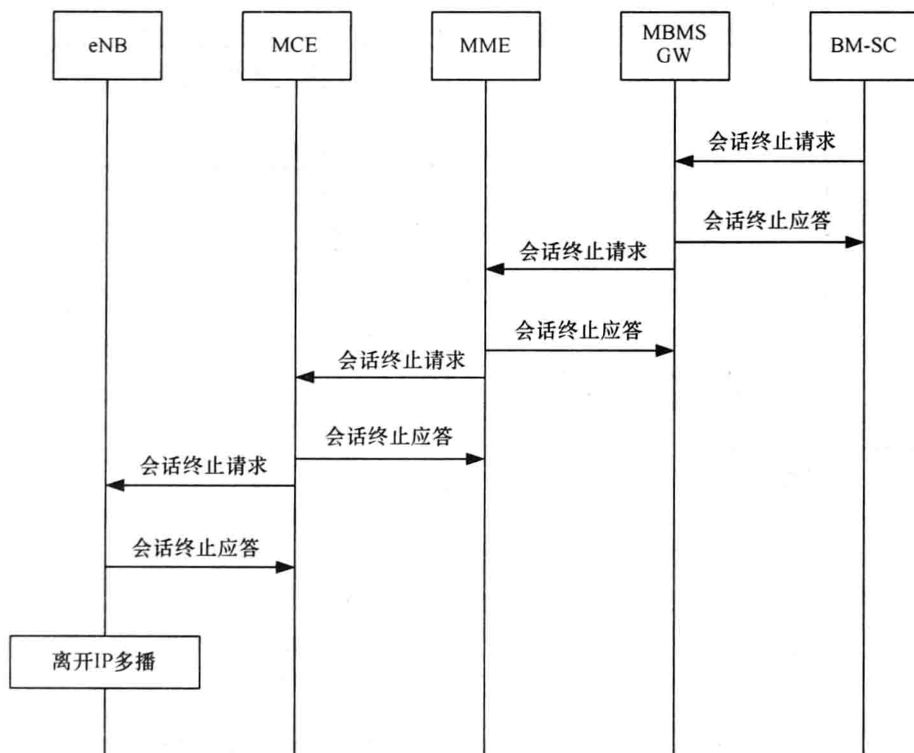


图 11.11　MBMS 会话终止

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

当会话终止请求消息被接收时，之前加入服务的 eNB 将离开服务用来禁止从 MBMS 网关接收 MBMS 用户数据。当 eNB 离开服务时，eNB 就会释放无线资源和信道的配置。此会话终止将触发 UE 的释放有关 MRB。

11.5.5　MRB 释放

当会话终止时，MCE 向进行该 MBSFN 传输的 eNB 发送 MBMS 调度信息消息，如图 11.12 所示。当接收到 MBMS 调度信息消息时，eNB 更新有关 MBSFN 区域的 MCCH 信息，并且终止该会话所对应的 MRB 的 MBSFN 传输。

当一个会话的 MBMS 是持续的，有兴趣的 UE 定期从与 MBMS 相关的 MBSFN 区域接收到 MCCH 信息。UE 可以在更新的 MCCH 信息中识别会话终止消息。当 MCCH 信

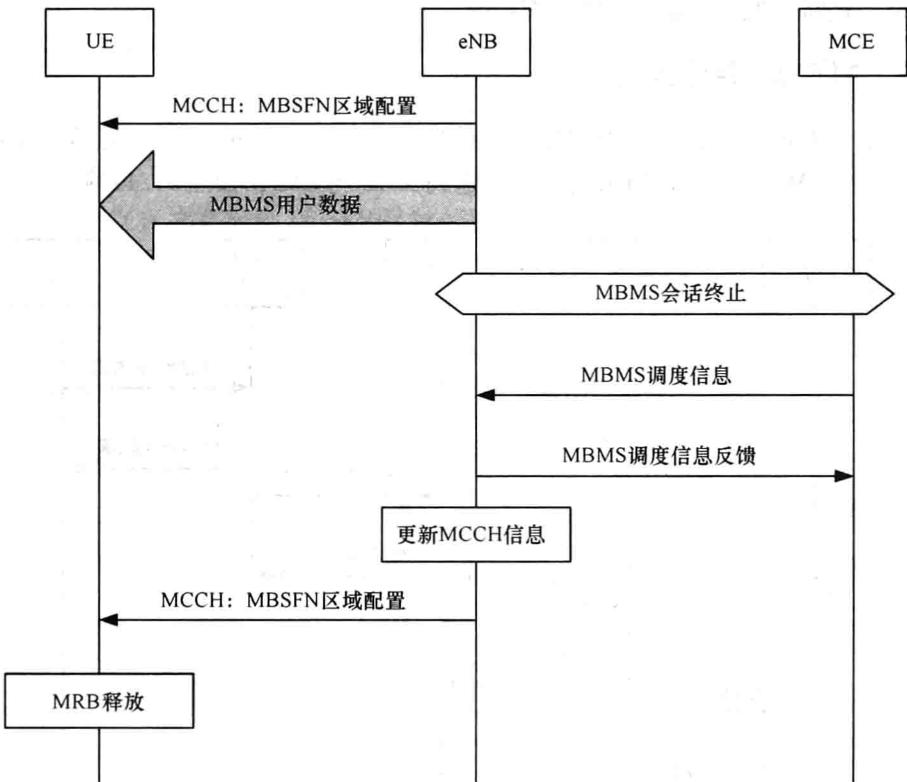


图 11.12 MRB 释放举例

息中没有对已建立 MRB 的配置信息时，UE 将认为与此 MRB 相关的会话终止。当会话终止，UE 释放会话建立的 MRB。

除了会话终止之外，UE 也可以在以下情况释放已经建立的 MRB 来停止接收会话，例如：

1）当 UE 离开与会话相关的 MBSFN 区域时。

2）当由于用户撤回服务，UE 不再对会话有兴趣时。

3）当 UE 没有能力接收 MBMS 会话时，例如，由于接收其他 MBMS/非 MBMS 有比当前 MBMS 有更高的优先级。

11.6 MBMS 在 R10 版本和 R11 版本中的增强

11.6.1 MBMS 计数

在 R10 版本中，3GPP 增强了 MBMS 计数程序。MBMS 计数程序允许 MCE 统计整个 MBSFN 区域上对某一 MBMS 感兴趣的 UE 数量。根据计数的结果，MCE 可能会在某

个 MBSFN 区域中挂起一个 MBMS 或者恢复一个已挂起的 MBMS。

R9 版本中，E-UTRAN 不知道某个 UE 是否在接收 MBMS，即便 UE 正处于 RRC_CONNECTED 状态。此外，E-UTRAN 不知道有多少 UE 正在接收一个特定的 MBMS。因此，在一个最坏的情况下，E-UTRAN 可能会在一些时间里在没有 UE 接收 MBMS 的 MBSFN 区域中传输 MBMS。

MCE 通过发送一个 MBMS 计数消息来请求启动计数程序，如图 11.13 中所示。此消息中包含了一个 MBSFN 区域 ID 和一个 MBMS 相关的用于计数的 TMGI 列表。此消息还包括了的 MCCH 更新时间，指示 MCCH 信息应在何时更新。

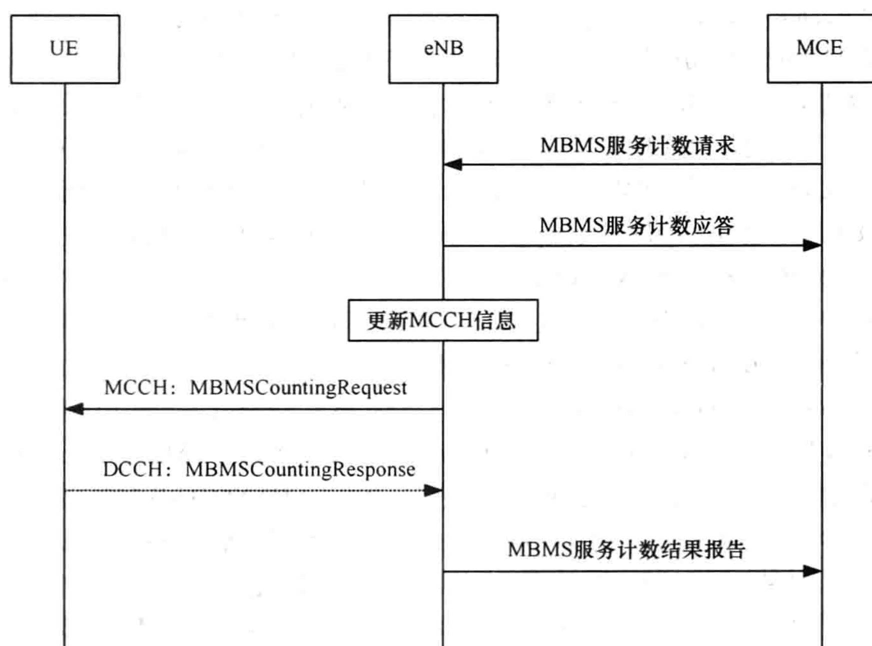


图 11.13　MBMS 计数过程

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有他们的版权

当 MBMS 技术请求消息被接收时，eNB 的 RRC 层将启动无线接口上的 MBMS 计数程序。MBMS 计数过程在 RRC 层由两个 RRC 消息组成：在下行链路中的 MBMSCountingRequest 消息和上行链路中的 MBMSCountingResponse 消息。MBMSCountingRequest 消息在 MCCH 信道上广播，而 MBMSCountingResponse 消息通过 SRB1 在 DCCH 信道上发送。

在 MCE 指示的 MBSFN 区域内，eNB 在与从 MCE 接收到的 MCCH 更新时间所对应的 MCCH 修改周期中，广播包括一个 TMGI 列表的 MBMSCountingRequest 消息。由于 MBSFN 区域的 MCCH 信息中存在着 MBMSCountingRequest 信息，PDCCH 所指示的 M-RNTI也将一并更新。MCE 可以将 MBMS 计数请求消息同时发送到几个同一 MBSFN 内区域提供相同 MBMS 的 eNB 上。

在 MBSFN 区域内，对 MBMS 有兴趣或正在接收 MBMS 的 UE 将接收从 eNB 发来的

MBMSCountingRequest 消息。如果 UE 所感兴趣的 MBMS 与 MBMSCountingRequest 消息中 TMGI 所列之一相对应，UE 就会发送 MBMSCountingResponse 消息来对 MBMSCountingRequest 消息做出响应。由于 MBMSCountingRequest 消息在 MCCH 修改周期中广播，eNB 可能从多个响应相同 MBMSCountingRequest 消息的 UE 接收到多个 MBMSCountingResponse 消息。

MBMSCountingResponse 消息不包括 TMGI，但为了提高无线电效率，指明了 MBMSCountingRequest 消息中相关 TMGI 在 TMGI 列表中的索引。因此，当在多个 MBSFN 区域上传送多个 MBMSCountingRequest 消息时，eNB 可能由于来自不同区域的不同 UE 的多个 MBMSCountingResponse 消息而混淆。因此，当多个 MBSFN 区域重叠在一个小区中时，UE 应表明对应的 MBSFN 区域在 SIB13 上广播的 MBSFN 列表中的索引。

值得注意的是，UE 接收 MBMSCountingRequest 消息时，UE 应处于 RRC_ CONNECTED 状态以便通过 SRB1 发送 MBMSCountingResponse 消息。由于 E-UTRAN 的计数程序不像在 UTRAN 中的 MBMS 计数，在 RRC_ IDLE 状态的 UE 不执行 RRC 连接建立。因此，E-UTRAN 通过 MBMS 计数程序只能统计在 RRC_ CONNECTED 状态对 MBMS 感兴趣的 UE。然而，E-UTRAN 可能能够估计在 RRC_ IDLE 状态的 UE 与在 RRC_ CONNECTED 的 UE 数量的比率。基于这个比率，E-UTRAN 可能能够估计对特定的 MBMS 感兴趣的在 RRC_ IDLE 与 RRC_ CONNECTED 状态的 UE。

在发送 MBMSCountingRequest 消息后，eNB 可能从一个或多个 RRC_ CONNECTED 状态的 UE 接收到一个或多个 MBMSCountingResponse 的消息。eNB 收集了 UE 回应后，通过 MBMS 计数结果报告消息向 MCE 报告处于 RRC_ CONNECTED 状态的正在接收或对 MBMS 感兴趣的 UE 数量。eNB 在消息中添加所有 TMGI 列出的 UE 数目。即使在某个 MBMS 没有计数响应的情况下，eNB 也可以报告数目信息。

MCE 可能收到来自属于该 MBSFN 区域的多个 eNB 的多个 MBMS 计数结果报告消息。在报告的基础上，MCE 可以决定在该 MBSFN 区域内挂起 MBMS 的发送或者恢复已挂起的 MBMS。在任何情况下，MCE 可以通过给在 MBSFN 区域的 eNB 发送 MBMS 调度信息来挂起或恢复 MBMS 的传输。应该指出的是，在无线接口上，会话的恢复和挂起和会话的开始与终止并没有什么不同。换句话说，UE 对于恢复和挂起的行为和对会话开始和会话停止时的行为一样。

11.6.2 MBMS 持续性

直到 3GPP 在 R11 版本中讨论支持 MBMS 持续性的移动性增强之前，一直假设 MBMS 特征并不影响 E-UTRAN 中的移动性过程。因此，一些正在接收或对 MBMS 感兴趣的 UE 可能由于在 RRC_ IDLE 状态时的小区重选或在 RRC_ CONNECTED 状态时的小区切换而无法接收 MBMS。

例如，当一个 RRC_ IDLE 状态的 UE 正在一个载波频率接收 MBMS 时，该 UE 可能重选到不支持 MBMS 的另一载波频率，例如，由于小区重选的优先级。此外，当在 RRC_ CONNECTED 状态的 UE 正在一个小区中接收 MBMS 时，eNB 可能通过小区切换

将 UE 移动到另一个没有 MBMS 的小区，因为 eNB 不知道上述 UE 是否正在接收 MBMS。因此，一些 UE 可能无法继续接收 MBMS。

支持 MBMS 的 UE 可以通过双接收机的方式来避免中断接收 MBMS。比如，如果一个 UE 有双接收机，UE 可以使用一个接收机接收单播服务，如语音呼叫以及一个基于正常移动过程的小区接收互联网服务。而另一个接收端从支持 MBMS 的小区接收 MBMS。然而，双接收端的一个缺点是增加了支持 MBMS 终端的复杂性。因此，如果可能的话，十分需要 UE 能使用单个接收机在同一载频上同时接收单播和 MBMS。

在 R11 版本中，3GPP 进一步增强了 MBMS 的持续性。为了这个目的，网络可以提供辅助信息通知 UE 关于载波频率和 MBMS 之间的映射以及 MBMS 的传输情况。

通过使用辅助信息中，当 UE 对一个特定的 MBMS 感兴趣时，在 RRC_IDLE 状态的 UE 可以在调度时间内，自主将携带的 MBMS 的载波频率设置为小区重选时最高优先级。其结果是，UE 很可能重新选择到承载 MBMS 的载波频率上。

值得注意的是，不仅从 R11 版本，从 R9 版本开始，在 RRC_IDLE 状态的 UE 就被允许自主给 MBMS 设置最高的小区重选优先级。然而，R9 版本和 R10 版本中，UE 无法获得 R11 版本中提供的辅助信息。因此，这些 UE 只能当它们获取到载频和 MBMS 之间映射信息时才能做出上述设置，例如通过应用层。

在 R11 版本中，在 RRC_CONNECTED 状态的 UE 可以通知服务小区感兴趣的 MBMS 所处的载波频率。为此目的，RRC 层引入了一个新的上行链路消息称为 MBMSInterestIndication 消息。

当 UE 正在接收或对 MBMS 感兴趣，RRC_CONNECTED 状态的 UE 可以在有 MBMS 调度的一个或多个载波频率上发送 MBMSInterestIndication 信息。然后，当 eNB 接收到来自 UE 的 MBMSInterestIndication 消息时，所述的 eNB 很可能通过启动小区切换将 UE 切换至有承载 MBMS 的小区载频上。

R11 版本中的这些增强，通过减少接收 MBMS 时的中断，提高了在 RRC_IDLE 和 RRC_CONNECTED 两种状态时的用户体验。

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 23.246, "Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
2. 3GPP Technical Specification 26.346, "Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 25.446, "MBMS synchronisation protocol (SYNC) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 36.211, "Physical Channels and Modulation (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
6. 3GPP Technical Specification 36.443, "M2 Application Protocol (M2AP) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第12章　载波聚合

在2007年世界无线电通信大会（WRC07）上，考虑到移动通信流量的爆炸式增长，有人预计在未来的15年移动通信系统将需要额外的频谱。WRC07定义了一些新的用于IMT-Advanced的频段：450MHz频段、UHF频段（698～960MHz）、2.3GHz频段、C-band（3400～4200MHz）。

在2008年3月，国际电信联盟（ITU-R）无线电通信部门开始为高级国际移动通信（IMT-Advanced）无线电接口的地面组件制定ITU-R建议。IMT-Advanced建议的主要特点是：

1）在保持成本效益、广泛支持各种服务和应用的灵活性的同时具有高度功能共性；

2）在IMT-Advanced内和固定网络的服务相容性；

3）与其他的无线接入系统的互通能力；

4）高品质的移动服务；

5）适合于全球使用的用户设备；

6）用户友好的应用程序、服务和设备；

7）全球漫游能力；

8）增强的峰值数据传输速率，以支持先进的服务和应用程序（将高速移动下100Mbit和低速移动下1 Gbit为研究目标）。

鉴于这些特点，在ITU-R征求了IMT-Advanced的候选无线接口技术提案。为了向ITU-R提供面向IMT-Advanced的3GPP提案，3GPP在LTER10版本中为LTE-Advanced定义了以下一般要求：

1）LTE-Advanced应该是LTE的演进版本；

2）LTE-Advanced应在ITU-R时间平面内符合或超过IMT-Advanced要求。

3）LTE-Advanced应该符合运营商的要求。

考虑到上面的要求，3GPP在2008年6月确定了LTE-Advanced的性能要求。表12.1对比了IMT-Advanced和LTE-Advanced的要求。

在性能要求之外，LTE-Advanced也被要求满足频谱需求，如频谱灵活性和频谱兼容性。频谱灵活性意味着，LTE-Advanced有能力使用不连续的频谱，频谱兼容性是指，LTE-Advanced能够与LTE使用相同的频谱。

为了满足频谱需求以及性能要求，LTE-Advanced在LTE R8/9版本的基础上扩展支持载波聚合（CA）。通过对两个或两个以上的分量载波（CC）的合并，支持更宽的传输带宽，高达100MHz，如图12.1所示。LTE-Advanced下的UE将根据设备的能力，可以聚合任何一个非连续的分量载波。

表 12.1 IMT-Advanced 和 LTE-Advanced 的性能需求

	IMT-Advanced	LTE-Advanced
峰值数据传输速率	100 Mbit/s 高移动性 1 Gbit/s 低移动性	DL 中 1 Gbit/s UL 中 500 Mbit/s
带宽	40MHz	达 100MHz
用户平面延迟	10ms	比 LTE Releases 8/9 提高了
控制平面延迟	100ms	50ms
峰值频谱效率	DL 中 15bit/s/Hz UL 中 6.75bit/s/Hz	DL 中 30bit/s/Hz UL 中 15bit/s/Hz
VoIP 容量	每 5MHz 达 200UE	比 LTE Releases 8/9 提高了

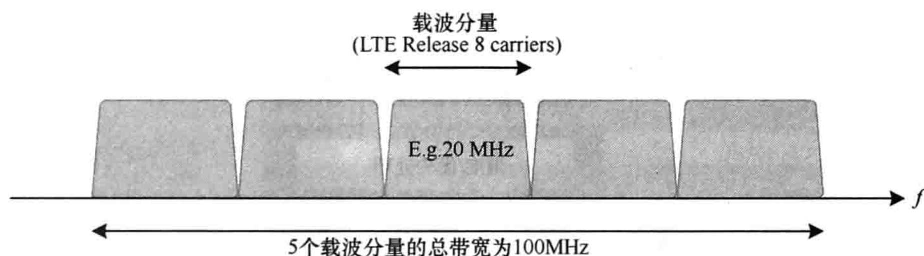


图 12.1 载波聚合的概念

图 12.2 和图 12.3 分别在下行链路和上行链路方面示出了 CA 的第 2 层结构。与

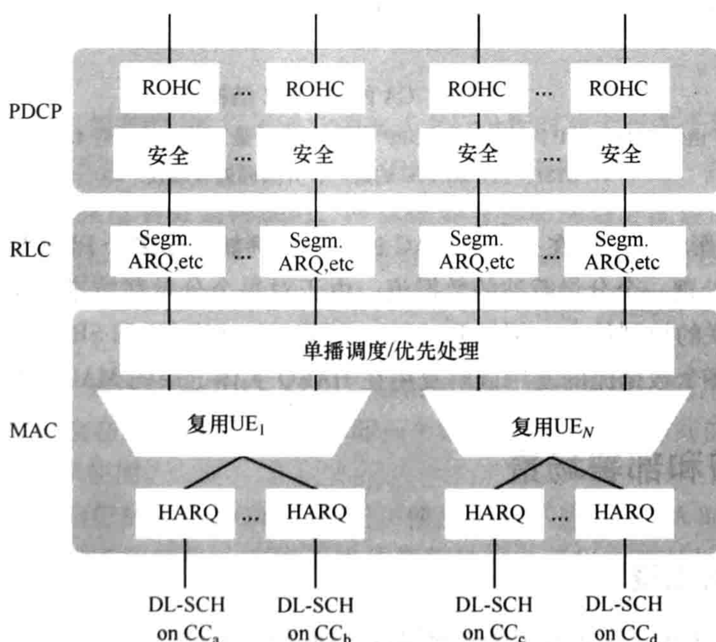


图 12.2 CA 的 DL 层 2 结构

R8/9版本的第2层结构相比，用来支持CA的一个重要区别是每个CC都使用一个HARQ实体。也就是说，一个UE应该能够在一个TTI中处理多个传输块。每个传输块用于一个分量载波。除此之外，在第2层协议中保持了对R8/9版本的兼容。重要的是要注意，CA操作对RLC层和PDCP层是不可见的，也就是说，RLC层和PDCP层不会受到CA操作的任何影响。

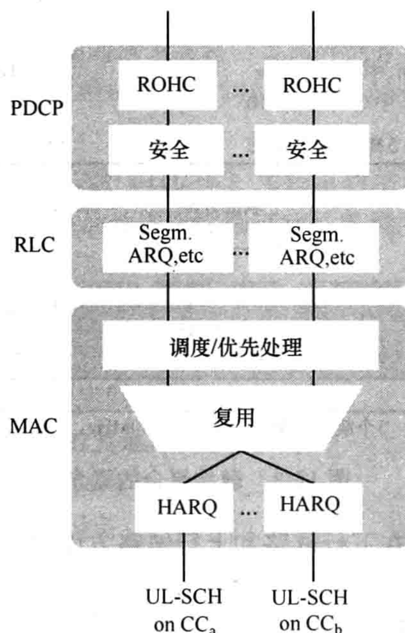


图12.3　CA的UL层2结构

由© 2011 3GPP许可发布。3GPP™ TSs和TRs是ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA和TTC的财产，并共同拥有版权

CA操作的影响被限制在一定的MAC过程中，例如操作多个PDSCH和PUSCH。每个HARQ实体处理一个分量载波的数据流。由于对每个分量载波进行单独的HARQ操作，因而相关联的控制信令，例如PDCCH、PCFICH、PHICH和SRS，也被定义给每个分量载波。对多个数据流的复用或解复用在HARQ实体上层的MAC层中进行。

12.1　频谱和部署场景

12.1.1　频谱场景

在CA中，考虑了3种不同的频谱场景，如图12.4所示。

带内的连续CA在当多个属于同一频带的多个CC以连续的方式进行分配时使用。虽然考虑今天的频率分配情况，这是一个不太可能的场景，但是如果在未来新的频段，如3.5GHz频段分配时，这将是可能发生的。

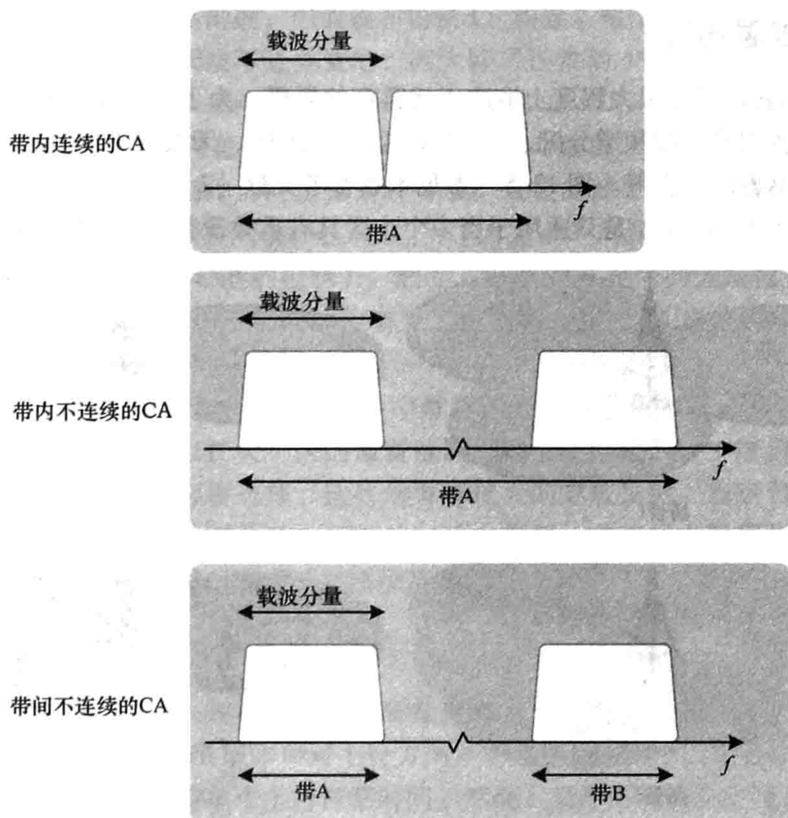


图 12.4 CA 频谱场景

当多个属于同一频带的 CC 以不连续的方式进行分配时或者当多个属于不同频带的 CC 进行分配时使用不连续 CA 时，作为现有的频谱分配策略的结果，并且由于在低频段（ <4GHz 的）的频谱资源是稀缺的，所以很难为移动网络分配连续的 100MHz 带宽。因此，不连续的 CA 技术提供了一个实用的方法，使运营商充分利用其现有的频谱资源，包括未使用的零散频段和已经分配给传统手机的频段。不连续的 CA 可以进一步细分为带内不连续的 CA 和带间不连续的 CA。

当多个属于同一频带的多个 CC 以不连续的方式进行分配时，使用带内不连续的 CA。这种场景预计会在这样的国家实现，即一个频带被分配并且中间的载波承载了其他用户或者网络共享使用。

当属于不同的频带的多个 CC 在分配时，使用带间不连续的 CA 时，对于这种类型的聚合，通过利用不同频带的不同无线传播特性[1]，可以潜在的改善移动时的鲁棒性。

在 R10 版本中，对于 UL，3GPP 已经决定只支持带内 CA，因为带间 CA 需要额外的功能，如维护多个上行链路时间。另一方面，对于 DL，同时支持带内和带间 CA。

12.1.2 部署场景

CA 的部署场景在很大程度上取决于运营商的需要。为了实现高效的部署，运营商考虑考虑各种因素，如频谱分配、市区/郊区/农村地区、天线的方向/位置、热点、频率选择性中继器的存在等。图 12.5（参见本章参考文献［2］）中示出一些可能的部署情况。应该指出的是 CA 是只适用于当多个小区具有重叠覆盖且属于同一 eNB 时。

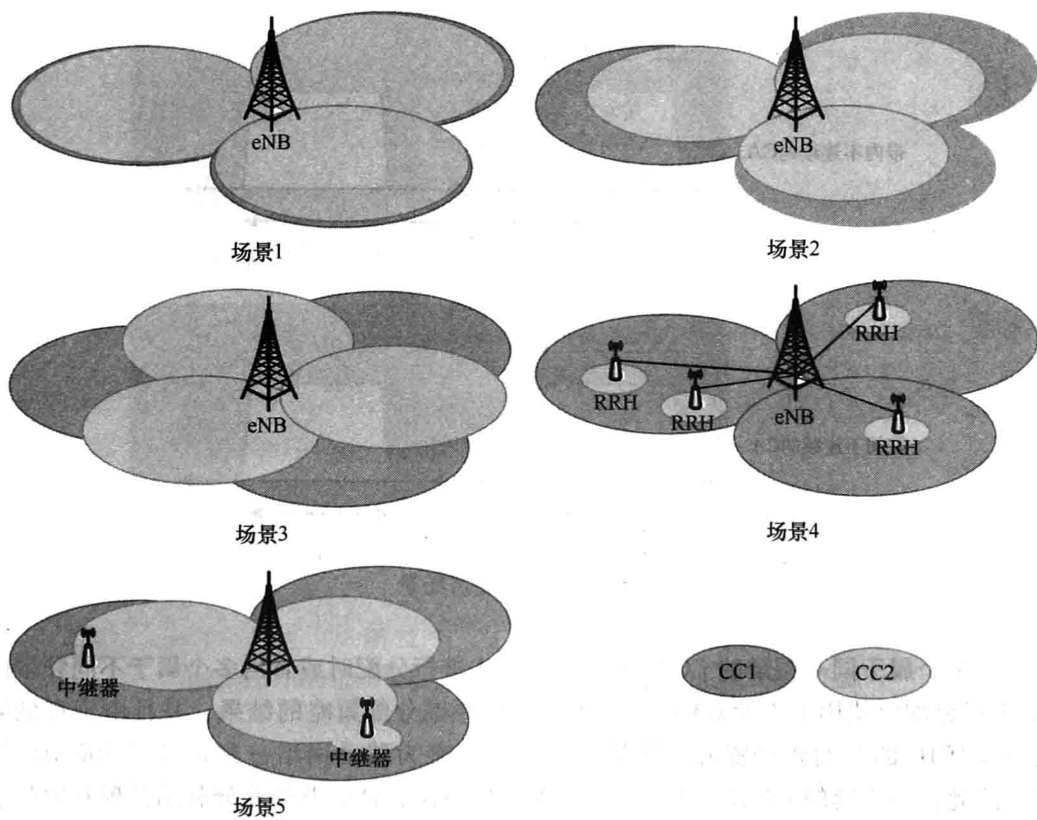


图 12.5　CA 部署场景

在 R10 版本中，场景 1 被认为是最典型的情况。在这种情况下，小区的天线并置，并且小区以小的频率差别进行覆盖。因此，重叠的小区提供了几乎相同的覆盖。这种简单的情况，使得简单的 CA 操作可以进行，这有利于 CA 的标准化工作。

场景 2 是在小区的天线并置，但小区覆盖范围的频率有较大差异，从而导致不同的小区覆盖范围。由于不同的路径损耗，高频小区的覆盖范围低于一个低频小区的覆盖范围。这种情况也被认为是重要的，因为在实际中运营商会被分配给在不同频段的频谱。

场景 3 是在小区的天线并置，但天线的方向是不同的，以填补在小区边界的覆盖

盲区。虽然天线的配置是不同的，但假设和场景1、场景2相比，没有新的要求。

在场景4中，小区的天线不是并置的，因为除了正常的eNB的小区外，也有远程无线电头（Remote Radio Heads，RRH）小区。与正常的eNB相比，一个RRH是一个低功率节点，RRH小区的覆盖范围通常是小于eNB的小区的。因此，RRH小区通常放置热点来提高吞吐量，从而作为对运营商具有成本效益的部署选项。请注意，虽然小区的天线不是并置的，CA技术仍然可以被应用，因为eNB的调度在一个地方进行，即eNB小区和RRH小区都在eNB的控制下。然而，由于eNB小区的天线位置与RRH小区的不同，eNB的小区和RRH小区的传播延迟也不同，因此，UE需要分别保持eNB的小区和RRH小区的上行链路时间。

场景5是小区的一部分被频率选择性中继器放大。运营商可以不仅在农村地区，而且在市区部署中继器，以扩大小区的覆盖范围。对于城市地区，中继器是确保小区在室内和地下覆盖的一个部署选择。这些地方有很大的穿透损耗。当运营商提供的服务在多个频段时，中继器并不总是在所有的频段中部署。应部署中继器的频带是由运营商的部署策略决定的，同时考虑到链路预算和部署成本等。类似场景4，由于中继器的存在，不同的小区有着不同的传播延迟。因此，这种情况下也需要维护多个上行链路时间。

正如上文所述，场景4和场景5有必要保持多个上行链路时间。由于此功能的复杂性不低，3GPP决定在R10版本中对上行方向不考虑这些情景。这就是说，在R10版本中，客户端只被要求保持单个上行链路时间。然而，对于下行方向，支持1~5的所有情景，因为下行链路的CA操作不影响上行链路时间。支持多个上行链路时间正在R11版本中被认真考虑。

12.2 小区管理

12.2.1 主服务小区和辅服务小区

CA最突出的特点是，给RRC_CONNECTED状态的UE配置多个服务小区。配置了的多个服务小区聚合后为UE服务。这里，提出一个有趣的问题：聚合的服务小区的功能是否一样？

在R8/9版本，服务小区的物理小区标识（PCI）用于派生安全密钥（参见3.5节）。只有一个PCI用于密钥派生。然而在CA中，有多个PCI可用，所以应该选中其中一个PCI。否则，安全结构需要改变。

为了保持原有的安全结构，3GPP决定将一个特殊的服务小区用于安全密钥派生。这种特殊的服务小区被称为主服务小区（Primary Cell，PCell）。它与R8/9版本的服务小区起着类似的作用。在RRC_IDLE状态的UE向一小区进行RRC连接，这个小区就成为该UE的PCell。在RRC_CONNECTED状态的UE在PCell上执行所有必要的程序，如安全、测量、移动性等。除非进行移交，PCell不会改变。

在 CA 中，eNB 可以根据业务量为 RRC_ CONNECTED 状态的 UE 配置额外的服务小区。这些额外的服务小区称为辅服务小区（Secondary Cells，SCell），并提供额外的无线资源给 UE。由于配置 SCell 取决于通信量，只在 DL CC 中配置 SCell。这是和 PCell 的主要区别，PCell 的 DL CC 和 UL CC 总是在一起配置。

由于 CC 的非对称特性，术语“载波聚合”被视为是不正确的，因为在该技术中将一个 PCell 和一个或多个 SCell 聚合在一起。虽然确切的术语是“小区聚集”，由于对“载波聚合”这个术语更熟悉，于是这个术语被保持。在本节中，DL CC 或 UL CC 被单独提及时使用“CC”，否则使用“PCell”或“SCell”。

由于一个 SCell 仅是提供额外的无线资源，大部分 UE 的程序不会应用到 SCell。例如，无线电链路监测、RA 过程和半静态调度。只有数据传输相关的程序在 SCell 上执行。

根据 CA 在 R10 版本中的规范，以下功能只通过 PCell 执行：

1）随机存取（RA）过程：随机存取过程的两个目的要求上行无线资源和校准的上行链路发送定时。由于所有 UL CC 使用相同的发送缓存器和相同的传输定时，因此没有必要在 SCell 上执行随机存取过程。

2）无线电链路监测（RLM）：一个 SCell RLM 是没有必要的，因为它可以通过 CQI/ SRS 为 SCell 报告。其结果是，RLM 只为 PCell 执行并且只有在信道质量差时，无线链路失败（RLF）被声明。

3）移交过程：在 PCell 变化始终需要移交过程，在改变 SCell 时无需移交过程。

4）PUCCH 传输：承载了 HARQ ACK/NACK，CSI（CQI/PMI/RI/PTI）报告和调度请求的 PUCCH 传输只在 PCell 上执行。

12.2.2 配置信息信令

当 UE 成功地完成了 RRC 连接建立过程，只有一个服务小区被配置，这个小区就是 PCell。之后，如果有必要添加，修改或删除针对该 UE 的 SCell，这可以通过 RRC 连接重配置过程实现。一个包含 sCellToAddModList 信息的 RRCConnectionReconfiguration 消息用于添加或修改 SCell。而一个包含 sCellToReleaseList 信息的 RRCConnectionReconfiguration 消息用于移除 SCell。一个用于 SCell 管理的 RRCConnectionReconfiguration 消息可能包括以下参数：cellIdentification、sCellIndex、radioResourceConfigCommonSCell、radioResourceConfigDedicatedSCell。

cellIdentification 包含 SCell 的 PCI 和 SCell 的绝对射频信道数（ARFCN）。

sCellIndex 用来为 UE 标识每个已配置的 SCell。在 PHY 层中，当使用跨载波调度时，它指示在 PDCCH 上资源分配信息的目标 SCell。在 MAC 层中，它表示 SCell 对应的位在扩展功率余量 MAC CE 和 SCell 激活和停用 MAC CE 位图的位置。在 RRC 层，它标识将被删除或修改的 SCell。因为这个 3 位的参数小于 9 位的 PCI，它可以减少信令开销。

radioResourceConfigCommonSCell 含有供 UE 在 SCell 上正常运行所必需的信息。重

要信息适用于所有在 SCell 上操作的 UE 的公共信息。这信息包括例如物理层配置参数。因为必要的信息对应于系统信息，UE 就不需要直接从 SCell 中读取系统信息。此外，当 SCell 的系统信息改变时，更新后的信息也通过 RRCConnectionReconfiguration 传送到 UE。其结果是，UE 应该通过接收 PCell 的系统消息直接获取 PCell 的重要信息，而可以跳过读取 SCell 的系统信息。

radioResourceConfigDedicatedSCell 包含特定 UE 的配置信息以在 SCell 上进行操作。

12.2.3　连接和参考

在 SIB2 中包含的 ul-CarrierFreq 参数指示了与 DL CC 关联的 UL CC。由于这种映射是通过 SIB2 传送的，所以这种在 DL CC 和 UL CC 之间的关联被称为 SIB2 连接。当 CA 不用于 UE 时，DL CC 和 UL CC 都只有一个。因此，在这种情况下，SIB2 连接是 UL CC 和 DL CC 之间唯一可能的连接。

另一方面，当 CA 被用于 UE 时，有多个的 UL CC 和 DL CC。此外，DL CC 的配置数量可与 UL CC 的配置数量不同。因此，在除了“SIB2 联动”选项，在配置 DL CC 和配置 UL CC 时，将有多种可能的关联方式。其结果是，一个 UE 专用连接可以被这样配置：对于同一个 UL CC 的不同 DL CC 可以配置给不同的 UE，反之亦然。

然而，由于以下两个原因只用 SIB2 连接。

首先，UE 专用连接导致无线资源的使用效率不高。在基于竞争的 RA 过程中，当在特定的 UL CC 上检测到 RA 的前导码传输时，eNB 需要发送 RA 响应。对于 SIB2 连接，因为有一个独特的 DL CC 与 UL CC 对应，eNB 知道需要在哪个 DL CC 上发送 RA 响应。但是，如果每个 UE 都使用一个专用的连接，有可能是多个 DL CC 与一个 UL CC 关联。在这种情况下，因为基站不知道哪个 UE 在 UL CC 上传输 RA 前导码，eNB 需要在所有可能的 DL CC 上发送 RA 响应。这导致无线资源的浪费。

其次，使用 UE 专用连接，随机存取过程变得更加复杂却没有任何益处。在基于非竞争的随机存取过程期间，当 eNB 检测到在一个特定的 UL CC 有 RA 前导码发送时，它可以唯一地标识传输 RA 前导码的 UE。在此之后，基于 UE 的连接配置，eNB 可以在与 UL CC 对应的 DL CC 上发送 RA 响应。然而，这意味着 UE 必须根据所执行的随机存取程序是非基于竞争的或基于竞争的，监听不同的 DL CC 而不是 SIB2 连接的 DL CC。因此，UE 专用连接招致不必要的复杂性。

因为 UE 基于对 DL 路径损耗的估计来调整 UL 发送功率，则 UE 应决定选用哪个 DL CC 来估计某个特定 UL CC 传输的路径损耗。作为一个简单的规则，对每个 UL CC，通过 SIB2 连接的 DL CC 可以用来估计路径损耗。然而，在一些 SCell 的路径损耗估计是不可靠的情况下，为了支持 HetNet 部署，允许使用 PCell 作为路径损耗估计的参考来代替 SIB2 连接的 DL CC。

UE 的上行发送定时根据下行链路的接收定时调整。在 CA 中，PCell 的 DL CC 用作所有 UL CC 的下行链路定时基准。这背后的原因是，R10 版本只支持带内 CA。在带内 CA 场景中，所有 UL CC 的 UL 传播延时几乎都是一样的，而所有 DL CC 的 DL

传播延时也几乎是一样的。其结果是，可以使用一个单一的 UL CC/ DL CC 对进行定时管理。由于 PCell 始终支持通过随机存取过程对时间校准，所以 PCell 被选择作为基准时间。

12.2.4　跨载波调度

当不使用 CA 时，UE 只配置一个 DL CC 和一个 UL CC。其结果是，通过 DL CC 的 PDCCH 的资源分配信息指示 DL CC 和相关联的 UL CC 的无线资源分配。这显示在图 12.6的左侧。

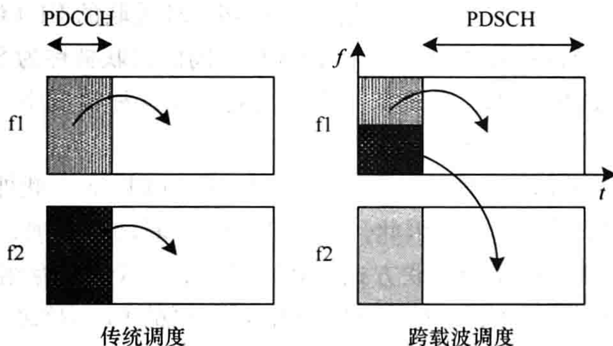


图 12.6　传统调度和跨载波调度

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

然而，如果 CA 被用于 UE 时，有多个的 UL CC 和 DL CC 供 eNB 选择进行无线资源的分配。基于这一事实，为 CA 引入跨载波调度，如图 12.6 的右侧所示。此跨载波调度允许通过一个 DL CC 的 PDCCH 的资源分配信息来指示其他 CC 的无线资源。一个新的字段称为载波指示字段（CIF），通过 PDCCH 指示有已分配无线资源的目标 CC。

跨载波调度有 3 个好处。

首先，跨载波调度应对一个不利的环境十分有效，例如异构网络（HetNet），其中相邻小区的干扰是显著的。在这种情况下，如果 PDCCH 信号在被干扰小区是不可靠的，可能无法对被干扰小区进行无线资源分配。这个问题由跨载波调度解决，因为 eNB 可以在干扰小区之外配置用于 PDCCH 传输的小区。

其次，跨载波调度提高了 eNB 的调度灵活性。如果没有跨载波调度，资源分配信息只能通过一个 DL CC 发送。然而，有了跨载波调度，eNB 具有多个 DL CC 可供资源分配信息传输的选项。例如，当有足够的 DL-SCH 资源的 DL CC 却缺乏 PDCCH 的资源时，其他 DL CC 的 PDCCH 的资源可以被用于传输资源分配信息。

最后，跨载波调度使 UE 的 PDCCH 盲解码的负担降低。当使用跨载波调度时，监测的 DL CC 数量可以小于 DL CC 的配置总数。由于 PDCCH 盲解码需要客户端很高的处理能力，减少 PDCCH 盲解码的量直接降低了对 UE 处理性能的要求。

PCell 是所有进行连接管理的基本程序执行的地方。因此，PCell 不使用跨载波调

度。也就是说，SCell 的 PDCCH 不能够传输 PCell 的资源分配信息。

对于每个小区，跨载波调度的配置是通过使用包含在 RRCConnectionReconfiguration 信息中的参数 CrossCarrierSchedulingConfig 进行的。此参数首先指示是否有另一个小区给该小区传送资源分配信息。如果有，这个参数进一步指示为该小区发送资源分配信息的小区。如果没有，此参数进一步指示这个小区的 PDCCH 是否可以为其他小区发送资源分配信息。

12.2.5　扩展测量

R8/9 版本的测量框架是建立在 UE 只支持一个服务小区的假设上。在 R10 版本中，测量框架已被扩展，使得它适用于支持多个服务小区的 UE。

12.2.5.1　测量类型的扩展定义

UE 需要执行 3 种类型的测量：服务小区的测量、频率内相邻小区的测量、频率间相邻小区测量。各种测量类型都是为配置有多个服务小区的 UE 扩展的，如下所示：

1）服务小区的测量：这是指对所有已配置的服务小区的测量。作为服务小区测量的例子（见图 12.7），UE 需要执行对 PCell 和 SCell 的测量。

2）频率内相邻小区的测量：这是指对与 UE 已配置的服务小区有相同频率的相邻小区的测量。在没有任何测量间隙的情况下，UE 可以执行频率内相邻小区测量。作为一个例子（见图 12.7），除了 PCell 和 SCell，所有频率 1 和 2 上的小区都属于频率内相邻小区的测量。

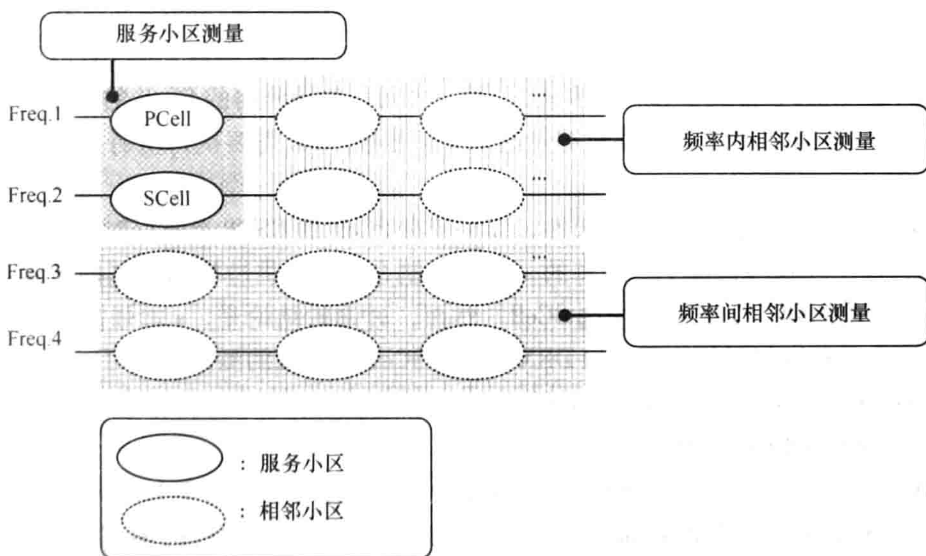


图 12.7　每种测量类型的扩展定义

3）频率间相邻小区的测量：这是指对与任何 UE 已配置的服务小区频率不同的相邻小区的测量。UE 可能需要测量间隙，根据 UE 的能力来执行频率间相邻小区测量。作为一个例子（见图 12.7）频率 3 和 4 上的所有小区都属于频率间相邻小区

测量。

12.2.5.2 现有测量的概括

不同情况下对测量性能的要求是不同的，这取决于测得的频率是主频率还是辅频率，SCell 是否在测量频率上，如果已配置的话，是激活的还是停用的。详细的测量性能要求在本章参考文献［3］中可以找到。

在 R8/9 版本中，UE 需要执行服务小区测量。此要求在 R10 版本进行了扩展，使得 UE 需要执行对所有已配置服务小区的测量。在 R8/9 版本中，一个服务小区的测量结果总是包含在所有 MeasurementReport 消息中，以协助服务小区执行合适的移动过程。这种行为在 R10 版本中也进行了扩展，因此 UE 必须包括所有已配置服务小区的测量结果。也就是说，PCell 和 SCell 所有可用的测量结果始终包含在所有的 MeasurementReport 消息中。

R8/9 版本中 UE 定义了几个测量报告事件。这些事件在 R10 版本中的扩展由于在 R8/9 版本中已有事件中的“服务小区”对应于 R10 版本中的 PCell 的说明而变得简单。受影响的事件是 E-UTRAN 测量中的事件 A1、A2、A3 和 A5，以及 RAT 间测量的 B2 事件。其他事件，如 A4 或 B1 不会受到此说明的影响，因为这些事件与服务小区的测量无关。

高能效的 UE 测量行为通常被称为“s 测量”，R10 版本中 s 测量的机制在原则上和 R8/9 版本中的定义相同。在 R8 版本中，s 测量的机制意味着 UE 被允许省略相邻小区测量，如果测得的其服务小区的参考信号接收功率（RSRP）高于 s 测量的阈值。R10 版本中对 s 测量唯一的澄清是，s 测量相关的 UE 行为中的服务小区指的是 PCell。也就是说，如果测得的 PCell 参考信号接收功率高于发送的 s 测量参数，则 UE 可以跳过相邻小区测量（带内/带间相邻小区测量）。另一方面，如果测得的 PCell 的导频信号接收功率不高于 s 测量参数，或如果没有发送 s 测量参数，UE 需要执行所有所需的相邻小区测量。

3GPP 讨论了增强 s 测量的必要性，以利于在 PCell 的 RSRP 足够好时方便增加或更换 SCell。由于在这种情况下，现有的 s 测量机制允许 UE 跳过相邻小区的测量，客户端可能无法检测到一个更好的候选 SCell。然而，讨论的结论是，s 增强测量是没有必要的，因为现有机制下的使用，如 DRX，停用 SCell 和仔细的测量配置可以为配置有多个服务小区的 UE 避免大量的电池消耗。

12.2.5.3 新的测量报告事件（A6）

R10 版本中引入一个新的事件 A6，以支持检测并报告同一频率上比 SCell 更好的小区。图 12.8 显示了一个由在辅频率上配置的 A6 事件而能进行的测量评估。这里，SCell 和同一频率上的小区 A 和小区 B 进行了对比。

新的 A6 事件背后的动机是，如果在有关频率上有的话，协助更换 SCell 为更好的小区。在一般情况下，如果 eNB 给 UE 配置最佳小区作为服务小区，频谱的使用效率就可以最大化。最佳小区是在无线电条件方面与有关频率上的服务小区相比。如果 UE 可以检测和报告一个更好的小区或者一些在相关频率上包括最佳小区的小区，将最佳

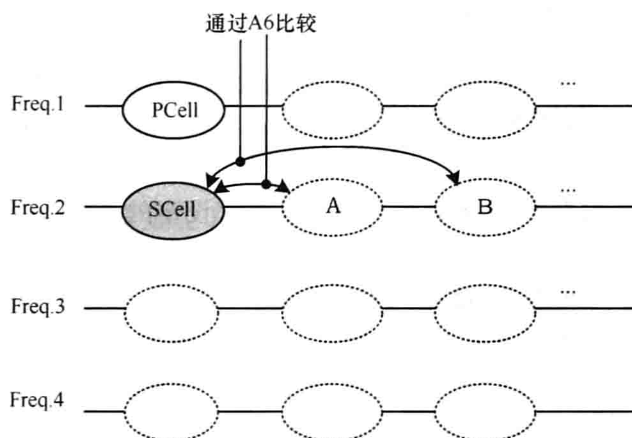


图 12.8 带有事件 A6 的测量报告评估

小区在辅频率上配置为服务小区就将成为可能。对于在主频率上检测和报告比 PCell 更好的小区，现有的事件 A3 可以使用，其中对 PCell 的测量结果将和在主频率上相邻小区的测量结果进行对比评估。不过，目前没有报告事件适用于报告和检测在相关辅频率上比 SCell 更好的小区。新的事件 A6 就为此目的使用。

引进事件 A6 对于在 R8 版本中引入的测量标识交换方面需要进行一些额外的处理。测量标识交换在切换或重新建立后，在服务频率上提供了对先前已配置测量的延续性。图 12.9 显示一个例子，其中需要额外处理来应对测量标识交换所引入的无效配置。

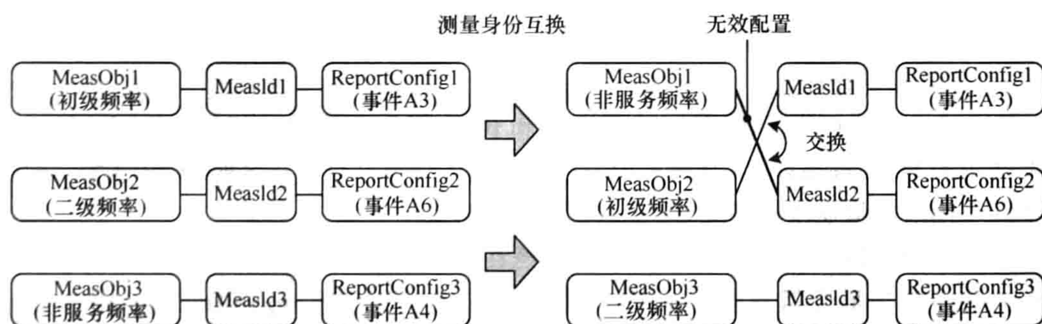


图 12.9 测量身份互换后无效的测量配置

在图 12.9 中，当进行了测量标识交换后，事件 A6 和 MeasObj1 通过 MeasID2 的关联是一个无效关联，因为事件 A6 是只适用于辅助频率。如果没有服务小区保留在源主频率上，这种无效的配置就会发生。这是越区切换/重新建立在源主频率以外的频率上的小区的结果。为了避免无效配置留在 UE 中，当标识的测量事件与测量对象的关联变得不适当时，UE 需要自主地释放无效的测量标识。在图 12.9 的例子中，UE 不得不释放 MeasID2。

12.2.6 SCell（辅服务小区）管理

为了有效利用可获得的频谱资源，一个网络应该谨慎地管理好对 UE 的 SCell 配置和再配置。SCells 管理包括 SCell 添加、移除、替换和 SCell 激活失活。测量报告事件可用来辅助管理 SCell，如下：

1）SCell 添加：如果事件 A4 是针对非服务频率设定的，那么当一个新的 SCell 候选在该频率上检测出来时，它可以触发一个测量报告。

2）SCell 移除：如果事件 A2 是针对服务频率设定的，那么当在该频率上的 SCell 被测量出的水平大幅度下降的时候，它触发一个测量报告，因此就可能会更加失活甚至从已配置的 SCell 中移除。

3）SCell 激活：如果事件 A1 是针对已设定的服务频率来配置的，那么当在那个频率上的 SCell 被测量出的水平足够好的时候，它就触发一个测量报告。

4）SCell 失活：事件 A2 的使用方式和 SCell 移除相似。

5）SCell 替换：对于相同频率上一个 SCell 替换成另一个 SCell（新的 SCell 候选），事件 A6 可以用来检测出比现 SCell 水平更高的 SCell 候选并触发一个测量报告。

注意上述 SCell 仅是个例子，应根据网络的经营政策而定。

12.2.7 载波聚合的移动性

对于切换来说，一般的原则是目标小区使用的无线电配置是由目标小区来决定的，然后通过源小区的切换命令给 UE 发送信号。这个原则也适用于载波聚合，切换命令也包括目标小区使用的 SCell 配置信息。

在接收到包括 SCell 配置信息的切换命令时，UE 根据接收到的配置信息配置 SCell 并使 SCell 在切换时失活。切换结束后，UE 一直保持 SCell 的失活状态直到 UE 从源小区收到 SCell 激活命令。

R10 版本中目标小区使用的 PCell 选择和 R8/9 版本中使用的相同。然而，目标小区要使用的 SCell 选择在 R8/9 版本中不存在。为了支持在目标小区的 SCell 选择，通过源小区引用附加信令，提供从 UE 到目标小区的信息。

为了使源小区的辅助信息可获得，已经在每个服务频率上的最优邻近小区引用报告。为了报告最优邻近小区，服务小区给 UE 提供了包括 reportAddNeighMeas 指示的测量报告信息。如果测量报告的条件满足，那么 UE 就在相关测量报告中指示在每个设定的服务频率上最优的邻近小区。测量报告也包括最优小区的 RSRP 和 RSRQ 测量值。

基于从 UE 收到的测量报告，源小区编制了一份 SCell 候选名单。名单中的每一条记录都包括物理小区识别、载波频率、RSRP 和 RSRQ 值。据认为，源小区做出合理的决定构建列表。然后，源小区在切换准备期间将 SCell 候选列表转发给目标小区，目标小区利用收到的关于 SCell 候选信息，以便在 UE 切换结束后使用 SCell 配置。

12.3 MAC 扩展功能

12.3.1 辅服务小区的激活和失活

如已解释的那样，SCell 通过 RRC 信令被添加或移除。然而，为了利用 DL CC 进行 PDCCH/PDSCH 接收和 UL CC 进行 PUSCH 传输，SCell 不仅需要被添加而且需要被激发。这意味着有一个单独的激发步骤来使 SCell 可用。该激发步骤的动机是减少由 SCell 频繁添加和移除引起的信令开销。这里，需要注意激发和失活只适用于 SCell。为了在 UE 和 eNB 之间保持可靠的连接，PCell 从来都不失活。

SCell 的激活和失活是由 MAC 信令而不是 RRS 信令实现的。通过使用 MAC 信令，eNB 根据数据活动，能够快速改变 SCell 的激活和失活状态。为了达到节省功率的目的，给定已引用失活的 SCell 状态，RF 活动和 UE 的基带部分应该设置成该状态下的最小值。因此，对 UE 只表现失活 SCell 的 RSRP/RSRQ 测量，而不表现消耗大功率的 CSI 测量。功率节省可以由不表现出失活 SCell 的 CSI 测量实现。

不仅 DL CC 的测量无效，ULCC 的传送对失活 SCell 来说也无效。因为 eNB 不在失活 SCell 上安排 PUSCH，在 SCell 上传输 SRS 是无用的。相反，在失活 SCell 上的 SRS 传输引起小区间的干扰，浪费 UE 电池。再者，来自失活 SCell 的 DL CC 的路径损耗估计不可靠，UL CC 的功率控制将不能精确工作。由于这个原因，SCell 的激活和失活迫使 DL CC 和 UL CC 同时启用或禁用。

如上所述，MAC 信令用来使 SCell 激活或失活。基于这个目的，一种被称为激活和失活的 MAC CE 被引进。这个 MAC CE 由带有 LCID 的 MAC PDU 子标题识别。它有一个固定的大小并且由包含 7 个 C_i 字段和一个 R 字段的一个 8 位字节组成，如图 12.10所示。

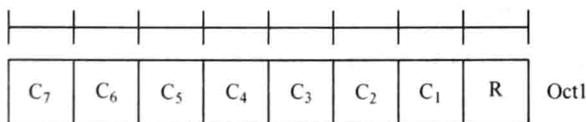


图 12.10 MAC CE 格式的激活/失活

C_i 字段指示的 SCell 与 SCellIndex i 激活/失活状态。这就是说，C_i字段“1”指示带有 CellIndex 的 i 应该被激活，而 C_i 字段“0”表示带有 CellIndex 的 i 的 SCell 应该失活。R 字段是一个保留位。由于 MAC CE 的格式包含位图，多个 SCell 可以由一个单一的 MAC CE 的激活和/或失活。

除了 MAC CE 激活/失活中显示失活命令，还可以使用第二种失活方法—SCell 可以由一种被称为 SCellDeactivationTimer 的计时器部分失活。如果丢失或不提供由 eNB 显

式的去激活命令，则 UE 依赖失活定时器失活。

每个 SCell 中都配置 SCellDeactivationTimer，尽管该值对所有 SCell 均是相同的。在接收到激活 SCell 明确的命令时，计时器开始计时，并在 SCell 接收到 PDCCH 指示上行授予或下行分配时重新启动。定时器期满后，UE 就使 SCell 失活。因此，只有当其 SCellDeactivation 的定时器运行时，认为 SCell 是激活的。

当 eNB 激活 SCell 时，它不能立即使用 SCell 进行数据传输。这是因为，UE 需要一些时间来对激活命令进行解码，并激活接收端链。所需要的时间间隔被称为激活期，为了给出一个合理的性能和复杂度之间的折中，它的长度已被选定为 8ms。由于激活期的存在，在激活命令发送和 SCell 的实际使用有一个时间差。例如，当 UE 接收到激活/失活 MAC CE 时使 SCell 在子帧 n 中激活，正常 SCell 操作时间在子帧 $n+8$ 开始。

同样的原则也适用于失活。为了提供 UE 足够的时间来解码失活命令和关闭接收端链，定义了 8ms 的失活期。然而，为了节省 UE 的电池，允许 UE 提前 8ms 失活 SCell。因此，当 UE 在子帧 n 中接收到激活/失活 MAC CE 失活 SCell 时，正常 SCell 操作在一个子帧中不迟于 $n+8$ 被完成。为了保持一致的 UE 行为，同样的失活期也适用于 SCell-DeactivationTimer 下的 SCell 失活。

尽管提前的失活是允许的，CSI 报告应继续到子帧 $n+8$。原因如下，当 CSI 报告和 PUSCH 传输在同一子帧中收敛的情况下，CSI 在 PUSCH 中被复用。在这种情况下，CSI 的长度取决于激活 SCell 的数量。如果允许 CSI 报告在前子帧 $n+8$ 停止，那么基站无法预测 CSI 报告终止的确切时间，因此，在整个失活期，eNB 进行 PUSCH 盲解码。为了消除这种不必要的基站复杂性，CSI 报告被迫在整个失活期持续，即使其他 SCell 操作可以在早于子帧 $n+8$ 前结束。

当 SCell 被激活时，正常 SCell 操作被执行。正常 SCell 操作包括以下行为：

1）SCell 上的 SRS 传输；

2）对 SCell 的 CSI 报告；

3）SCell 上的 PDCCH 监控；

4）另一个小区的 SCell 的 PDCCH 监控（这只适用于当 SCell 的跨载波调度被配置时）。

12.3.2　功率余量报告

功率余量（Power Headroom，PH）指示正常最大输出功率和估计 PUSCH 的发送功率之间的差异。此信息对 eNB 调度程序在 UE 最优发射功率执行上行链路调度是有用的。在 R8/9 版本，一个单一的 PH 值是足够的，因为每个 UE 只有一个单独的 UL CC。然而，在使用多个 UL CC 的 CA 时，每个 CC 可能会遇到不同的信道条件，因此 UL CC 间的 PUSCH 的发射功率可能不同。因此，每个 CC 应报告 PH 值，并且每个 CC 也应该进行功率控制。这是 CA 中引入每个 CCpH 值的原因。每 CC PH 指示最大输出功率和估计 PUSCH 发送功率的 CC 之间的差异。

此外，在 R10 版本中，引入 CA、MAC 层增强使得 UE 被配置为在同一子帧中传输的 PUSCH 和 PUCCH。同时对 PUSCH 和 PUCCH 传输的支持取决于 UE 容量。然后，UE

的发射功率需要分布在两个信道之间。这意味着，即使一个单一的 UL CC 被配置，eNB 也可能不知道 CC 的 PH，除非估计的 PUCCH 发射功率被报告。因此，另一种 PH 值类型被引入，以指示 CC 最大输出功率和 CC 上估计 PUSCH + PUCCH 的发射功率之间的差异。因为只允许在 PCell 上进行 PUSCH 传输，所以这种类型的 pH 值只适用于 PCell 的 PUCCH 传输。

因此，在 CA 中定义了两种类型的 per- CC PH—— 一种只考虑 PUSCH 传输功率，另一种对 PUSCH 和 PUCCH 传输功率都考虑。前者被称为 Type 1 PH，后者被称为 Type 2 PH。用下面的公式进行计算每一个不同的 PH 值，$P_{CMAX,c}$指的是服务小区的最大输出功率。正如前面所解释的，Type 2 PH 只适用于 PCell，而 Type 1 PH 对 PCell 和 SCells 两者都适用。

1）Type 1 PH = $P_{CMAX,c}$— USCH power

2）Type 2 PH = $P_{CMAX,c}$—（PUSCH powert + PUCCH power）

PUSCH 或 PUCCH 不发送的情况下，在已知的 eNB 和 UE 的参考格式的基础上，类型 1 或类型 2 的 PH 值被计算。这种不同的 PH 值被称为虚拟的 PH 值，这意味着，PH 的计算基于假设虚拟 PUSCH 或 PUCCH 传输。虚拟 PH 对 eNB 的上行链路调度是有用的，因此需要上报。

引入虚拟 PH 给基站带来了另一个问题，因为它必须确定每个服务小区的 PH 值的类型。没有类型标识，eNB 不知道报告的 PH 值是基于实际的或虚拟的传输，这将导致相应小区的 UL CC 功率形势的错误估计。解决 eNB 的这个问题的一种方法是考虑 PH 类型识别的上行链路调度。然而，这使基站的复杂度大大增加，此外，有时由于 PDCCH的检测误差没有一个准确的结果。因此，有必要明确地指示不同的 PH 值——正常或虚拟。

对于 Type 1 和 Type 2 PHS，$P_{CMAX,c}$应上报给 eNB；这与 R8/9 版本的 PH 值情况不同。这是因为 per- CC PH 值可能无法在基站的 UE 功率状态上提供足够的信息。例如，有一种情况，报告的 PH 为每个 UL CC 指示一个足够好的功率上升空间，而此时 UE 的总功率超过了最大。因此，UE 应报告连同相关 PH 值的 $P_{CMAX,c}$。一个例外，是基于参考格式计算的虚拟的 PH 值。由于对 eNB 来说 $P_{CMAX,c}$是已知的，对 eNB 报告 $P_{CMAX,c}$是没有意义的。因此，如果报告的 PH 是虚拟的，$P_{CMAX,c}$是不被报告的。然而，对于正常的 PH，$P_{CMAX,c}$总是同相关的 pH 值一起被上报。

PHR 传输由定时器和参数控制；即，prohibitPHRTimer、periodicPHR- Timer 和 dl- PathlossChange，与 R8/9 版本中类似。这些是 per- UE 的配置，相同的值适用于所有服务小区。prohibitPHR 计时器控制 PHR 的传输频率，periodicPHR 计时器控制 PHR 的周期性传输。该 DL PathlossChange 控制基于事件的 PHR 发送；也就是，当测量的 DL 路径损耗超过来自上一次发送的 PHR 的 DL PathlossChange 时，PHR 就被触发。

在 R10 版本中，所需的功率回退变化超过上一次发送的 PHR 的 DL- PathlossChange 时，PHR 也被触发。引入这种触发是为了指示，当 UE 在不同的无线接口发送时，UE 自主降低发射功率，以满足特定吸收率（SAR）的要求。由于 PH 计算是在施加自动功

率回退之后，应指出，PH 值计算是在降低发射功率下进行的。在 CA 引进的另一项新的 PHR 触发是 SCell 激活。由于 SCell 的功率情况激活之前和之后是不同的，因此及时向 eNB 提供的更新后的功率情况是有用的。因此，PHR 在 SCell 激活时触发。然而，PHR 在失活时并不触发，因为 SCell 直到再次被激活时才被使用。

在 CA 中，由于多个服务小区的配置和每个服务小区的电源情况独立监控，每个服务小区可以在不同的时间触发 PHR。在这种情况下，问题是当 PHR 被其中一个服务小区触发时哪个服务小区的 PH 应报告。

当 dl-PathlossChange 阈值满足服务小区时，很有可能其他服务小区的路径损耗或功率补偿也会在一定程度上产生变化。因此，这对基站来说能更好地知道服务小区的功耗状况。实际上，它始终是有利于基站知道所有未来服务小区上行调度激活的功耗状况。因此，当任何激活的服务小区触发 PHR 时，同时会报告全部激活服务小区的 PH。

基于此目的，新的 PHR，即扩展 PHR，已在 R10 版本中被引用。不管 PH 值是正常还是虚拟，扩展 PHR 包括所有激活服务小区的 PH。请注意，PCell 包括 1 型和 2 型 PHS，而 SCell 只包括 1 型一个。还要注意的是类型 2 的 PH 仅在 PUSCH 和 PUCCH 传输同时配置时被包括。由于扩展 PHR 包括多个服务小区的 PH，因此需要识别该 PH 属于哪个服务小区。因此，标识符字段包括在扩展的 PHR 中。由于标识符字段，扩展的 PHR 是可自解码的，因此，它可以被任何激活的服务小区发送。这和 R8/9 版本不同，R8/9 版本仅在相应的服务小区发送 PHR。任何激活服务小区扩展 PHR 的发送为基站提供了极大的灵活性，因为基站不必为每个报告的服务小区分配 UL 授权。

扩展 PHR 被输送到一个新的 MAC CE 上，被称为扩展 PH MAC CE。一个新的 LCID 被分配用来指示扩展 PH MAC CE。扩展 PH MAC CE 的格式如图 12.11 所示。

C_i 字段指示带有 SCellIndex i 的 PH 字段的存在。值“1”指示 SCell i 的 PH 值被报告，“0”指示 SCell i 的 PH 值没有报告。由于 PH 字段的存在依赖于 C_i 字段的值，扩展 PH MAC CE 的长度各不相同。因此，MAC 子报头中需要 L 字段指示 MAC CE 的长度（见 6.11 节）。

V 字段指示报告的 PH 值类型，正常的或虚拟的。值“1”表示 PH 值是虚拟的，而“0”表示 PH 值是正常的。此外，V 字段指示相应的 P_{CMAX} 字段存在与否。因为虚拟 pH 值不需要 P_{CMAX}，P_{CMAX} 字段只在 V 字段值被设置为“0”时存在。

P 字段指示，UE 是否依据电源管理适用功率回退。值“1”表示如果由于电源管理的应用没有功率回退，相应 $P_{CMAX,c}$ 字段将有一个不同的值。在这个字段中，eNB 可以知道该 UE 自主降低其发射功率。

PH 字段指示相应服务小区的功率上升空间，$P_{CMAX,c}$ 字段指示 $P_{CMAX,c}$ 用来计算 PH。对于 PCell，只有当 PUSCH 和 PUCCH 传送同时被配置的时候，2 类 PH 值和相应 $P_{CMAX,c}$ 字段才存在。

R 字段是保留位。

C_7	C_6	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1	R
P	V	PH(类2,PCell)					
R	R	$P_{CMAX,c}1$					
P	V	PH(类1,PCell)					
R	R	$P_{CMAX,c}2$					
P	V	PH(类1,SCell1)					
R	R	$P_{CMAX,c}3$					

…

P	V	PH(类1,SCell *n*)
R	R	$P_{CMAX,c}m$

图 12.11　MAC CE 扩展的功率余量

12.3.3　逻辑信道优先级

UE 执行 LCP（Logical Channel Prioritization，逻辑优先级）程序分配传输资源给每个复用的逻辑信道（见 6.6 节）。通过使用逻辑信道的优先级和优先化比特率（PBR），则 UE 可以分配适量的传输资源给每一个无线承载。传输资源的计算由 UL 授权分配的 UL CC 进行。R8/9 版本中，至多有一个 UL 授权在 TTI 可用，因为只有一个 UL CC 被配置。

在 CA 中，LCP 程序需要改变，以处理一个 TTI 中的多个 UL 授权。由于每个 CC 都被提供给一个 UL 授权，UL 授权的数量应由激活 LC CC 的数量在一个 TTI 中进行处理；也就是说，不管是独立或联合处理都一样。

独立处理意味着，该 UE 按照接收的顺序一个接一个地进行 UL 授权。即使是在同一子帧中，收到的实际时间也因每个服务小区不同。因此，UE 可能能够识别 UL 授权的接收顺序，并将 LCP 程序应用到每一个接收到的 UL 授权。由于多个 UL 授权的处理是串行的，有时也被称为串行处理。这个计划的唯一重要的方面是在一个 TTI 多个 LCP 程序可以进行。应当指出，在一个 TTI 中，即使有多个 LCP 程序在 PBR 中同时进行，在一个 TTI 中只执行一次定义的 PBR。

联合处理意味着 UE 首先收齐从一个 TTI 获得的 UL 授权，然后将 LCP 程序应用到总的 UL 授权。每个逻辑信道的传输资源基于总的 UL 授权来计算。在这个方案中，LCP 程序只在一个 TTI 进行一次。

在联合处理中，每个 MAC PDU 包括的 RLC PDU 根据 UL 授权的处理顺序而不同。这意味着，无线承载的 QoS 将受到 UL 授权的处理顺序的影响。如果无线电 UL CC 的条件是不同的，最好先处理一个更好质量的 UL CC 的 UL 授权，质量差的 UL CC 最后处理，以确保更好的 UL CC 上高优先级的数据传输质量。

然而，至少在 R10 版本中，所有激活 UL CCS 享受类似的信道质量是合理的。考虑到只有在 R10 版本中支持波段内的方案，UL CC 的特点不会有太大的不同。此外，由于基站是知道 UE 的发射功率（通过 PHR）和信道质量（通过 CQI）的，它会选择适当的 UL 授权提供 UL CCS 类似的质量。由于 UL CCS 之间的信道质量是类似的，处理顺序不是一个联合处理应考虑的重要因素。因此，由 UE 来决定，联合处理中，UE 首先处理哪个 UL 授权。

比较两个方案，从实现的角度来看独立处理更简单，因为它是一个现有的 LCP 程序的简单扩展。在一个 TTI 中应用 LCP 程序多次是完全足够的。然而，从性能的角度来看，联合处理较好，因为它导致 RLC 层中更短的分割。虽然在复杂性和分割性之间取折中，但差别并不显著，因此这两项计划在 CA 中都是被允许的。因此，由 UE 实现来决定在一个 TTI 中对多个 UL 授权采取独立处理或联合处理。

12.3.4 缓冲区状态报告

CA 的 BSR 程序和 R8/9 版本没有太大的不同。依赖于触发条件的 3 种类型的 BSR 仍在使用中，即常规 BSR、周期 BSR 和 Padding BSR，至多有一个 BSR 被包括在 MAC PDU 中（请参见 6.5.1 节）。唯一的区别是在一个 TTI 中发送的 BSR 的数量。在 R8/9 版本中，在一个 TTI 中最多有一个 BSR 在传输，因为只有一个服务小区被配置。然而，在 CA 的一个 TTI 中多个 BSR 是可以发送的，因为多个服务小区被配置（每 UL CC 一个 MAC PDU）。

在一个 TTI 中传输多个 BSR 的一个限制是，只有一个定期或周期 BSR 被允许在一个 TTI 中。这一限制的原因是，对逻辑通道的用户数据在定期或周期 BSR 中具有较高的优先级优先顺序，因此，在 MAC PDU 中包括所有的定期或周期 BSR 会消耗大量的传输资源用以分配用户数据。

但是，在一个 TTI 中发送多个 Padding BSR 是可接受的。在 R8/9 版本中，为每个 MAC PDU 使用相同的规则决定 MAC PDU 中内含的 Padding BSR。也就是说，包括一个后，剩下的空间包含 MAC SDU 和必要的 MAC CE 可以容纳一个填充 BSR。

当多个 BSR 的在一个 TTI 中传输，所有的 BSR 反映了相同的缓冲区大小。这是因为 BSR 缓冲区的大小是在 TTI 中所有的 MAC PDU 内置之后决定的。有人可能会认为，多个相同 BSR 的传输会浪费无线资源。然而，由于定期或周期 BSR 只发送一次，一个 Padding BSR 仅利用填充位，在同一 TTI 中，发送多个具有相同缓冲区大小的 BSR 没有

多余的消耗，它还可以提高 BSR 的可靠性。

CA BSR 的一个重要方面是缓冲区的大小可以比 R8/9 版本的 BSR 指示一个更广的范围。更具体地说，R8/9 版本的缓冲区大小可以指示 150000B，而 CA 的缓冲区大小可以指示多达 3 000 000B，这是 R8/9 版本缓冲区大小的 20 倍以上。由于在 CA 和 MIMO 技术的帮助下，R10 版本的数据传输速率显著增加，缓冲区大小级别也改变以适应这样的高数据传输速率。与传统的缓冲区大小级别相比，这就是所谓的扩展缓冲区大小级别。对于单个 UE，是否使用扩展的缓冲区大小级别或传统的缓冲区大小级别由 eNB 来配置。

12.3.5 非连续接收

为了延长到 CA 的 DRX 操作，考虑两种不同的选择：UE-specific DRX 和 Cell-specific DRX。在 UE-specific DRX 中，一个共同的 DRX 操作适用于所有已配置的小区。由于对于所有的小区活动时间（Active Time）是相同的，因此 UE 监视所有在同一子帧中 DL CC 的 PDCCH。每个 UE 的 DRX 相关定时器和参数都为 UE-specific DRX 操作而配置。然而，在小区的 UE-specific DRX 中，每个小区进行它自己的 DRX 操作。由于活动时间是独立配置的，一个小区的活动并不影响其他小区的 DRX 操作。在这种情况下，每个小区需要进行配置 DRX 相关的定时器和参数。

在这两种方案中，3GPP 决定为 CA 使用 UE-specific DRX。虽然 Cell-specific DRX 更能节省功率，选择 UE-specific DRX 的原因是因为它简单，并和 R8/9 版本的 DRX 有许多共同点。此外，可以由 SCell 失活来节省功率，这是选择 UE-specific DRX 的另一个原因。

12.3.6 半持久调度

半持久调度用于当大量的同步 VoIP 用户需要调度时（见 6.4 节），减轻 PDCCH 上的负载。对于单个 UE，只有一个模式的 SPS 资源被配置，因为 UE 通常一次只使用一个 VoIP 服务。在 CA 中，SPS 资源配置是对 PCell 有限的。如果对一个 SCell 进行 SPS 资源配置，那么每次 SCell 激活/停用或添加/删除都需要重新配置。由于没有执行切换，Pcell 就不会被失活或添加，Pcell 上的 SPS 资源无需进一步复杂化就可被稳定使用。

在某一子帧中，当动态调度被执行的时候，SPS 资源可以被动态资源覆盖。由于 SPS 资源仅为 PCell 而配置，很明显 PCell 动态资源可以覆盖 SPS 资源。然而，SCell 的动态资源是否可以覆盖 PCell 的 SPS 资源是主要矛盾。

允许 SCell 动态资源覆盖 PCell 的 SPS 资源在使用 PDCCH 时给基站带来灵活性。然而，这将使 UE 实现复杂化，因为 SCell 上的 PDCCH 接收将会在 SPS 操作中加以考虑。此外，PDCCH 错误率将因服务小区的数量成倍增长，这使 eNB 很难预测 UE 的实际传输。出于这个原因，人们认为 PCell 动态资源应该有能力覆盖 SPS 资源。

参考文献

1. Iwamura, M., Etemad, K., Fong, M.-H. *et al.* (2010) Carrier aggregation framework in 3GPP LTE-advanced. *IEEE Communications Magazine*, **48**, 60–67.
2. 3GPP Technical Specification 36.300, "E-UTRA and E-UTRAN Overall Description Stage 2 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 36.133, "Requirements for support of radio resource management (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第13章　中继技术

Relay（中继）是一种以无线方式在演进型 NodeB（eNB）和用户设备（UE）之间中继无线电传输的技术。它被认为是在 LTE R10 版本引入的关键技术之一，并且由位于 eNB 和 UE 之间被称为中继节点（RN）的一个额外的网络节点来实现。通过中继节点，运营商可以在不同类型的场所以相对较低的设备投资支出（CAPital EXpenditure，CAPEX）和运营支出（Operating Expenditure，OPEX）提高蜂窝覆盖范围和吞吐量。

13.1　场景部署

在每一个位置都部署基站是不符合成本效益的，并且有时并不容易，因为它需要固定和有线回程（backhaul）。在中继技术的研究过程中，确定各种场景，在这些场景中中继部署被视为比正常基站部署[1]有用得多。所确定的场景概述如下：

1）覆盖延伸：RN 可以部署在小区边缘来扩大 eNB 的覆盖范围。在农村地区人口稀疏的小区边缘部署 RN 是一个典型的部署场景。

2）减少盲点（Dead spot mitigation）：RN 可以部署在一个盲点，从蜂窝小区中移除覆盖盲区。一个覆盖盲区通常是由于物理障碍造成的，如建筑物、隧道等。

3）吞吐量增强：RN 可以部署在一个热点或室内区域，使该特定区域的吞吐量增加。

4）临时覆盖：RN 可以部署在一个举办特别活动的区域（如体育比赛、音乐会），或在遇到自然灾害（如地震、海啸）时提供临时覆盖。

5）群组移动性（Group mobility）：RN 可以部署在移动中的车辆上，如公共汽车、火车等。与其他场景不同的是，在这种情况下 RN 是受移动性管制的。

尽管中继部署在多种场景中被认为是有用的，但 LTE R10 版本中优先处理了农村地区覆盖延伸的场景，并且把重点放在了在运营商部署（operator-deployed）、固定模式（stationary-type）和单跳 RN（single-hop RN）上。

部署场景的简化极大地减少了标准化工作的工作量，并从而确保 RN 在 R10 版本的时间表内可用。覆盖延伸的优先级如图 13.1 中所示。

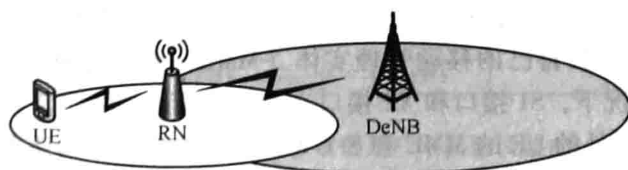


图 13.1　中继节点部署方案——农村地区中的覆盖延伸

13.2 中继节点的网络架构

支持所述 RN 的整体网络架构如图 13.2 所示。相对于传统的网络体系结构，它引入了一个介于 UE 和 eNB 之间被称为 RN 的新网络节点。由于 RN 的引入，一种介于 RN 与 eNB[2]之间被称为 Un 接口的新无线接口也被引入。

由于 Uu 接口（NodeB 与 UE 的通信接口）与 Un 接口相比没有太大的不同，大多数的 Uu 功能同样适用于 Un 无线协议。然而对于特定 RN 的操作，一些 Uu 的功能已被修改，如第 13.4 节所说。为了支持两个不同的无线接口，RN 配备有两个无线发送端/接收端对，一个用于 Uu 接口，另一个用于 Un 接口。

为 RN 服务的基站被称为施主 eNB（Donor eNB，DeNB）。DeNB 和正常基站之间的差异在于 DeNB 同时支持 Uu 和 Un 无线协议，而正常的基站仅支持 Uu 的无线协议。

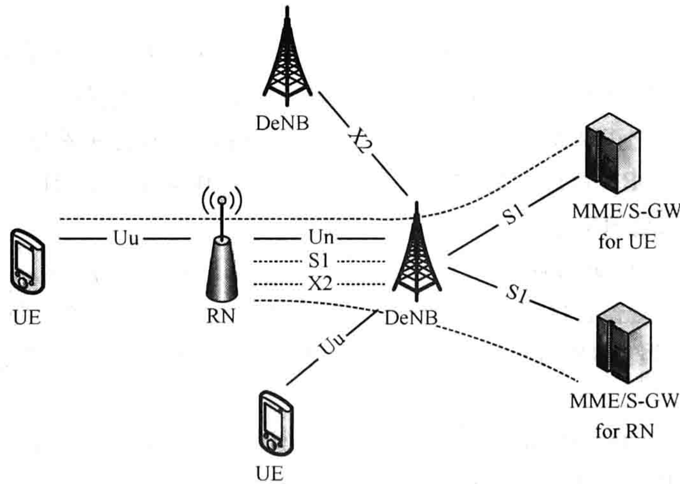


图 13.2 支持中继节点的网络架构

由于 DeNB 配备 Uu 和 Un 无线协议，它能够同时服务 RN 和 UE。DeNB 服务的 RN 数目没有限定。

RN 同样配备有 Uu 和 Un 无线协议。在连接到 DeNB 之前，RN 在最初连接到 DeNB 过程中可作为 UE 并且使用 Uu 无线协议。一旦连接成功，RN 可以担当 eNB 的角色，并使用 Un 无线协议与 DeNB 通信以及 Uu 无线协议与在其覆盖范围的 UE 进行通信。RN 成为 eNB 的详细步骤将在第 13.5 节说明。

此外，从网络接口的角度来看，RN 同时具有 UE 和 eNB 两个方面。对 UE 来说，RN 通过 DeNB 连接到其自己的移动管理实体（MME）和服务网关（Serving Gateway，S-GW）。在这种情况下，S1 接口和 X2 接口在 DeNB 终止。然而，当 RN 变成 eNB 时，它通过 DeNB 连接另外的 UE 的 MME 和 S-GW。在这种情况下为服务 UE 的 S1 接口和 X2 接口在 RN 终止。这意味着，Un 无线协议应支持 S1 和 X2 信息以及用户平面的 GPRS 隧道协议（GTP-U）的数据的转移，这是同 Uu 无线协议相比的主要区别。

DeNB 可以在 RN 和其他网络节点之间（比如，MME、S-GW 和 eNB）提供 S1 和 X2 代理功能。换句话说，对于 RN，DeNB 起 MME（S1 控制平面）、S-GW（S1 用户平面）或 eNB（对于 X2）的作用，因此对于 RN，DeNB 显示为相应不同的网络节点。S1 和 X2 代理功能包括在与 RN 和其他网络节点相关联的 S1 接口和 X2 接口之间传递 UE 专用的 S1 和 X2 信令消息以及 GTP 数据包。

图 13.3 和图 13.4，分别显示了支撑 RN 的控制平面和用户平面的协议体系结构。请注意，控制平面的消息（S1AP/X2AP）和用户平面数据（GTP-U）两者都在 Un 接口中作为 IP 数据包发送。

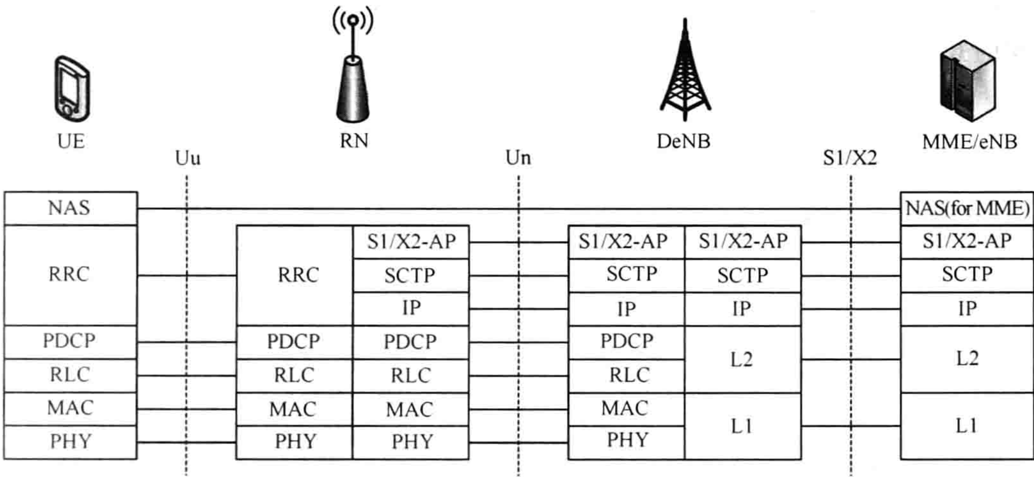


图 13.3　支持中继节点的控制平面协议架构

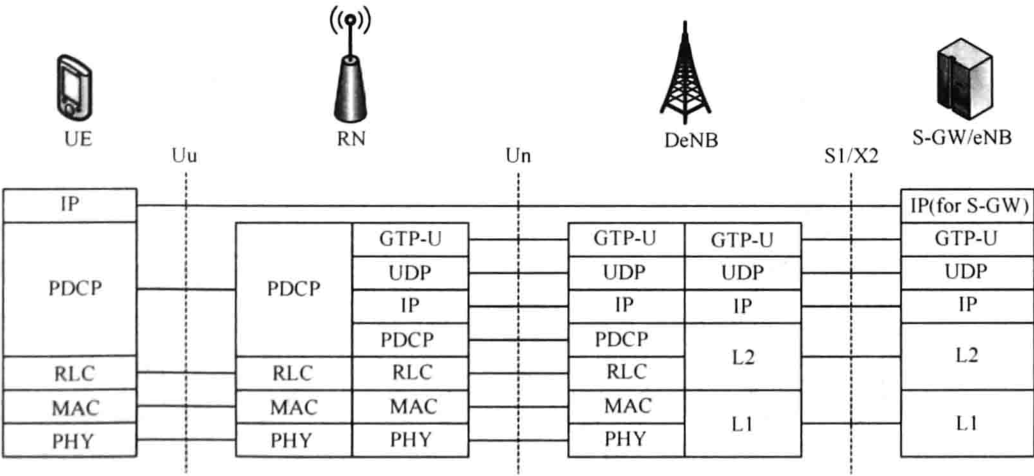


图 13.4　支持中继节点的用户平面协议架构

13.3 中继节点类型

在中继技术研究过程中，讨论了各种各样不同类型的 RN。RN 不同类型之间的变化主要是基于两个方面：哪一层进行中继以及 Un 链路和 Uu 链路是否共享频率。下面的章节将对每方面进行解释。

13.3.1 中继技术的分层执行

就层进行中继来说，我们考虑 3 种类型的 RN：层 1 RN、层 2 RN 和层 3 RN。这些类型的 RN 分别示于图 13.5 ~ 图 13.7。

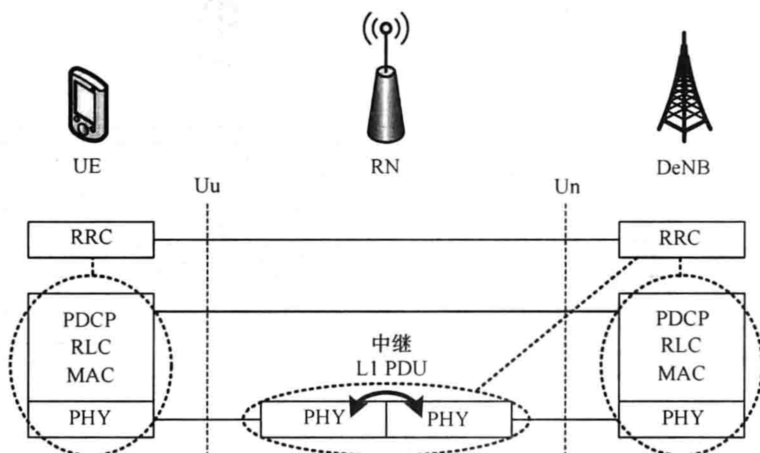


图 13.5 层 1 RN 的协议架构

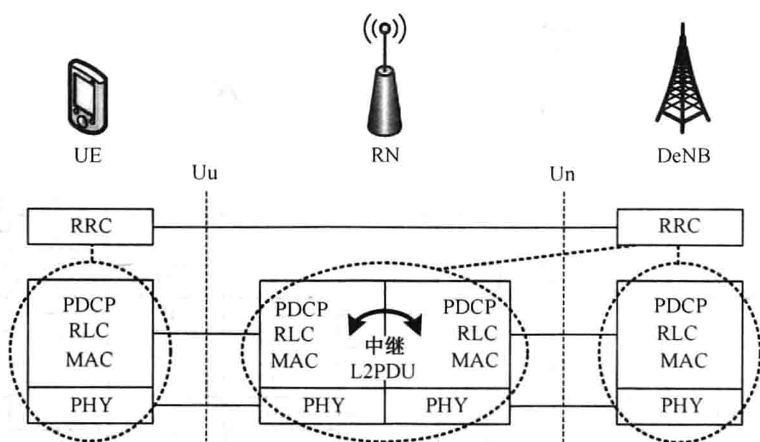


图 13.6 层 2 RN 的协议架构

层 1 RN，有时也被称为一个中继器（repeater），转发物理层中的射频（Radio Frequency，RF）信号，只放大 RF 信号。由于没有执行进一步的数据处理，所以其处理

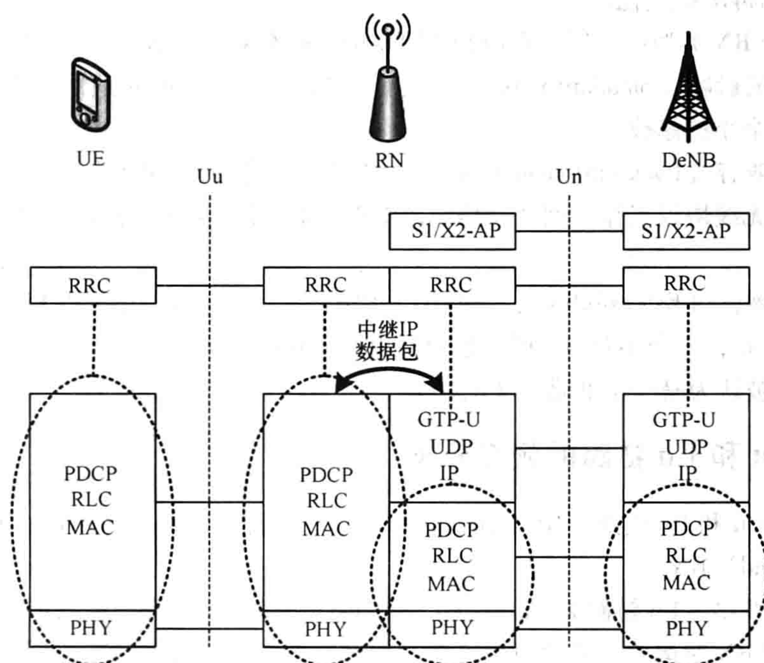


图13.7 层3 RN的协议架构

延迟小于其他类型的RN，但它不能改善信干噪比（SINR），因为干扰和噪声连同所需的信号同时放大。层1 RN的物理层功能是由DeNB的无线资源控制（RRC）层控制的。

层2 RN设计通过在层2中对RF信号解码和编码来克服层1 RN的缺点。虽然与层1 RN相比处理延迟稍微增加，但在层2的解码和编码处理可以消除干扰和噪声。依据在不同实际子层运行，层2 RN可以进一步分类为媒体介入控制层（MAC）RN、无线链路控制（RLC）层RN或分组数据汇聚协议（PDCP）层RN。由于在RN中没有RRC层，在DeNB中的RRC层应控制所有在RN中的层1和层2功能。例如，在RN中的数据格式、重传和调度需要通过DeNB加以紧密控制。这是层2 RN的一个主要缺点，因为两个网络节点的协调不是一件容易的事。此外，额外的层2功能需要支持RN和DeNB之间的密切协调。出于这个原因，即使层2 RN具有优越的性能，它也不是最好的选择。

类似于层2 RN，层3 RN可以在层2处理过程中消除干扰和噪声。然而，层3 RN有完整的层3功能。也就是说，它配备的RRC层以及层1和层2的无线协议。现有的Uu无线协议除了在Un端的一个小修正外同样适用于层3 RN。中继节点处理在PDCP层之上的IP数据包，并且由RRC层控制所有层1和层2的无线协议。由于RRC层，层3 RN可以用自己的小区标识（PCI）控制其所在小区，并且作为结果，它对UE来说是一个正常的eNB。层3 RN的缺点是增加了由层2协议造成的处理延迟，即IP数据

包重新组合和再次格式化。

在这三个 RN 类型中，层 3 RN 已被 LTE R10 版本采用，基于以下原因：

1）标准的影响（Standard impact）：现有的 Uu 无线协议同时适用于 Uu 和 Un，只在 Un 端有一个小的修改。

2）向后兼容（Backward compatibility）：对于 Uu 端，层 3 RN 作为一个正常的基站使用现有 Uu 无线协议工作。因此，传统的 UE 不需要任何特殊的机制就可以连接到层 3 RN。

3）可扩展性（Extensibility）：一旦层 3 RN 连接到 DeNB，它可以相对 DeNB 独立工作。这意味着，一个多跳 RN 可以很容易由层 3 RN 支持。虽然 R10 版本不支持多跳的 RN，但这被认为是一个非常有用的功能。

13.3.2 Uu 和 Un 链路的频率分离

RN 根据 Uu 和 Un 链路[3]中使用的工作频率之间的关系可分为带内（in-band）和带外（out-band）RN。

在带内 RN 中，Un 链路和 Uu 链路工作在相同频率上。由于不要求额外的频率，部署这种类型的 RN 对运营商来说更加经济。然而，两个无线链路共享相同的频率会导致自干扰的问题，即一个链路的传输会对另一条链路造成干扰。因此，为了防止在带内 RN 的自干扰问题，应在 Uu 和 Un 链路中使用一个特殊的资源分离方法，例如时域分离（Time-domain separation）。时域分离确保带内 RN 不在两个无线链路上同时发送和接收。

如果 Un 链路和 Uu 链路在不同的频率上工作，这种情况被称为带外 RN。由于 Uu 和 Un 链路频率分离，带外 RN 在两个链路上可以同时发送与接收。没有额外的机制需要用于分离的 Uu 和 Un 链路。虽然与带内 RN 相比该操作是简单得多，但给 Un 接口分配一个单独的频率不是一个经济的选择。

LTE R10 版本决定同时支持带内和带外的 RN。换句话说，RN 应该是能够在带内或带外的模式下运作的。运营商可以根据它们的频率规划选择运行模式。

前文已经提过根据中继层支持的中继类型是层 3 RN。因此，在 LTE R10 版本中支持的中继类型是带内的层 3 RN 和带外的层 3 RN。在 3GPP 标准中，前者被称为 Type 1 RN，而后者被称为 Type 1a RN。

13.4 特定中继节点的操作

RN 像 UE 或基站一样支持 Uu 的大多数功能。UE 的 Uu 功能控制着到 DeNB 的连接，到 RN 下的 UE 的连接由 eNB 的 Uu 功能控制。Uu 功能应用到 RN 上无需任何修改。当 RN 作为 eNB 操作时，Un 的功能用于 Un 接口。虽然 Uu 功能也非常适合于 Un 操作，但引入了更多的功能以支持有效的 RN 操作。

本节介绍了 RN 操作的具体的新功能。

13.4.1　承载映射

一个 UE 可以在 Uu 接口支持多达 8 个数据无线承载（DRB）（见 3.6 节）。同样，RN 在 Un 接口可支持 8 个 DRB。然而，RN 在 Uu 接口应该支持 8 个以上的 DRB，因为 RN 服务多个 UE 并且每个 UE 可以被配置多达 8 个 DRB。

由于 Un 的 DRB 的数量有限，在上行链路，RN 执行 Uu 与 Un DRB 之间的 N-to-1 映射。承载映射是基于 QoS 类别标识（QCI）执行的（见 1.5.2 节），使多个具有相同或类似的 QoS 的 Uu DRB 被映射到一个 Un DRB。对于下行链路，相同的 N-to-1 映射由 DeNB 执行。

RN 通过两部分信息得到 Uu 和 Un 的 DRB 之间的实际映射规则：QCI-to-DiffServ Code Point（DSCP，差分服务编码点）和 DSCP-to-Un DRB。QCI-to-DSCP 由操作、管理和维护（OAM）提供，标志着 Uu DRB 的 QoS 级别应该映射到 DSCP 值。包含在 GTP-U 报头中的 DSCP 字段与 Un 的 DRB 相关，两者之间的关联由 DeNB 通过业务流模板（Traffic Flow Template，TFT）发出信号。通过这种方式，RN 可以明确地把 Uu 的 DRB 映射到 Un 的 DRB。请注意，接收到该映射信息的时间取决于执行情况。

图 13.8 显示了在 RN 中承载映射的一个例子。在图中，所有的 UE 承载的 IP 语音（VoIP）映射到 UnRB1，网页浏览映射到 UnRB2，流媒体映射到 UnRB3。

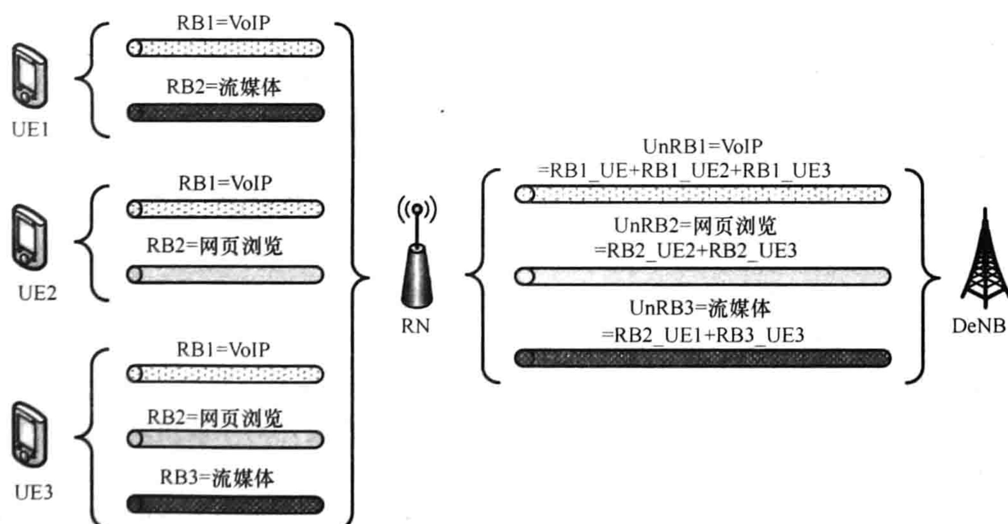


图 13.8　RN 中每个 QCI 的承载映射

N-to-1 映射意味着，多个 Uu 的 DRB 被多路复用到一个单一 Un DRB 中。由于 R10 版本只支持层 3 RN，RN 只完成 PDCP 层之上 IP 数据包的多路复用。在 Un DRB 中复用的 Uu DRB 的识别由包含在 GTP 报头中的 GTP-U 隧道端点标识（Tunneling Endpoint ID）取得。图 13.9 显示了在 RN 执行的 IP 数据包多路复用。

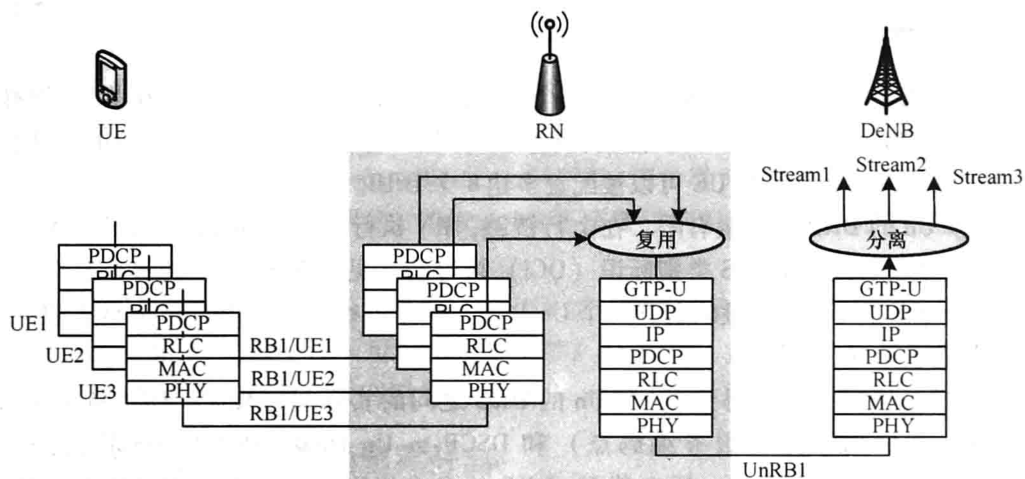


图 13.9 上行链路传输的 IP 数据包多路复用

13.4.2 Un DRB 的完整性保护

在 LTE R8 版本中 PDCP，完整性保护没有应用到多个 DRB，因为采用完整性保护，将导致在 PDCP 分组数据单元（PDU）额外 4B 的开销（见 4.3 节）。考虑到数据包内容的重要性，在用户平面数据中的开销增加被认为是不值得的。因此，R8 版本中，完整性保护只应用于信令无线承载（SRB）。

然而在中继的环境中，情况是不同的，因为例如像 S1AP 和 X2AP 等控制平面消息在 Un 接口的 DRB 上传送，如图 13.3 所示。因此，将完整性保护施加到除了 Un 接口的 SRB 之外的 DRB 上是必需的。

为了支持 Un 接口 DRB 的完整性保护，Un 协议的 RRC 与 PDCP 与 Uu 的协议相比已经略有改变。这些变化的解释如下。

首先，为使每个 DRB 的完整性保护是可配置的，在 PDCP 配置消息（PDCP-Config）中包含了一个称为 rn-IntegrityProtection 指示符。此指示符表示完整性保护是否应给 DRB 施加。具有可配置性的原因是，S1AP/X2AP 的消息需要完整性保护，但完整性保护对用户平面数据仍是没有必要的。完整性保护功能的使用对承载用户平面数据的 DRB 来说是可选的。

其次，要在 DRB 上执行完整性保护，需要一个称为 K_{UPint} 的来自 KeNB 的独立的 AS 安全密钥，类似于其他安全的密钥：K_{RRCint}、K_{UPenc} 和 K_{RRCenc}（见 3.5 节）。在 R8 版本中，仅应用于 SRB 的完整性保护，完整性密钥仅来自于 SRB，即 K_{RRCint}。然而，对于 RN，除了两个加密密钥（K_{UPenc}，K_{RRCenc}）推导出两个完整性密钥（K_{UPint}，K_{RRCint}）。K_{UPint} 的管理与其他的安全密钥的管理是相同的。

再次，引入一个新的 PDCP PDU 格式，以支持用户平面 PDCP 数据 PDU 的完整性保护。在 R8 版本中，包含在 SRB 的 PDCP Data PDU 中的 MAC-I 字段（域），但其不包

含在 DRB 的 PDCP Data PDU 中（见 4.7 节）。因此，为把 MAC-I 字段包括在 DRB 的 PDCP Data PDU 中，又定义了一个新的 PDCP Data PDU 的格式，如图 13.10 所示。这种格式与 DRB 的 PDCP Data PDU 的格式相同，除了把一个 4B 的 MAC-I 字段附加到 PDU 的结尾处，还使用 12bit 的 PDCP 序列号（Sequence Number，SN）。请注意，在这种情况下，只使用了一个 12bit 的 PDCP SN。当为 Un DRB 配置完整性保护时，RN 应在 Un 接口使用这种格式。

D/C (1bit)	PDCP SN (12bit)	Data	MAC-I (4B)

图 13.10　支持完整性保护的 Un DRB PDCP Data PDU 格式

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

最后，DRB 的完整性验证失败的处理不同于 SRB。在 R8 版本中，当 SRB 的完整性验证失败发生时，PDCP 指出失败的 RRC 来触发 RRC 连接再建立过程（见 4.3 节）。对于 RN 来说，这种方法同样适用于 SRB，但应用于 DRB 的操作是不同的。

当 Un DRB 完整性验证发生故障时，RN 仅丢弃完整性失败的 PDU，而不会触发 RRC 连接再建立过程。这是因为，如果 DRB 是一个确认模式（AM）DRB，为了支持无损切换，COUNT 值不会通过 RRC 连接再建立过程复位（参见 4.6 节）。由于完整性失败大多来自损坏的 COUNT 值，如果 COUNT 值不复位，完整性问题可能不确定。因此，在这种情况下触发的 RRC 连接再建立过程是无用的。3GPP 决定把 DRB 完整性失败的处理留给 RN 实现，而不是执行一个特殊的机制。由于在任何情况下完整性失败的概率都是非常低的，故把这个问题留给 RN 执行应该不会降低的 RN 性能。

13.4.3　RN 子帧配置

层 3 RN 可以在两种不同的模式下工作：带内和带外。带外操作是简单的，因为 Uu 和 Un 链路通过频率分离。带外操作需要额外的频率。另一方面，因为 Uu 和 Un 链路需要在时域分离，带内的操作是相当复杂的。

通过创建在 RN-to-UE 传输中的“时域间隙（gaps）”实现了下行链路时域的分离。在“时域间隙”时，RN 不能传送给 UE，但可从 DeNB 接收。“时域间隙”是保留给 DeNB-to-RN 传输的一个特殊子帧。带内 RN 的下行链路的操作如图 13.11 所示。

“时域间隙”信息通过 MBMS 单频网（MBSFN）子帧配置的手段（见 11.3 节）发送信号。MBSFN 子帧最初被设计用于多媒体广播多播服务（MBMS）发送，但它可以用于 RN 用途，在这种情况下，它被称为 RN 子帧。由 RN 子帧结构的知识可知，连接到 RN 的 UE 可避免在 RN 的子帧中任何企图从 RN 接收数据的尝试。也就是说，UE 不应该在 RN 的子帧监听 RN。

为了确保对 UE 的向后兼容性，RN 在每个子帧中应发送一些控制信息，例如

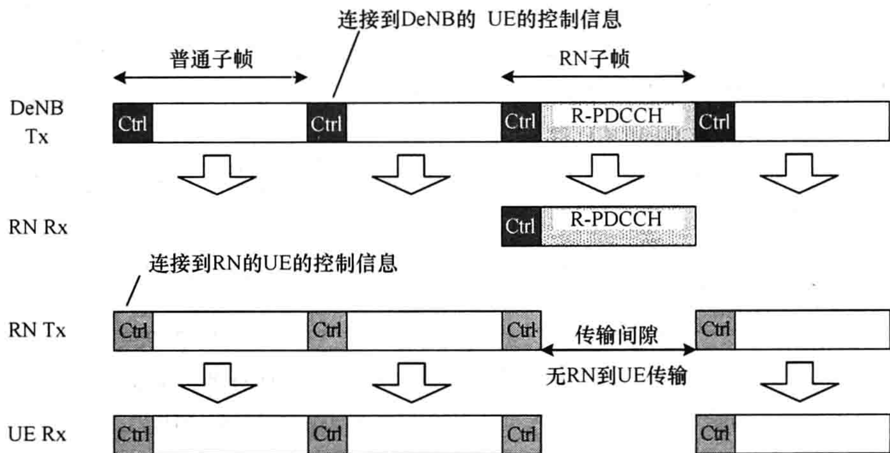


图 13.11 带内 RN 的下行链路操作

PDCCH、PCFICH 和/或 PHICH 的。即使在 RN 子帧中，RN 也应发送控制信息。控制信息在每个子帧的开始进行传输。

当 RN 的控制信息发送到 Uu 链路，RN 不能从 DeNB 接收控制信息。没有控制信息，RN 不能从 DeNB 接收数据。因此，我们引入一个被称为中继物理下行链路控制信道（R-PDCCH）的新物理控制信道。R-PDCCH 在 RN 的子帧部分处传输，其中，RN 还没有给 Uu 链路发送控制信息。

对于上行链路，RN 子帧配置并不需要，因为 RN 可以完全控制 UE 的上行传输。当 RN 想要传送给 DeNB 时，它可以通过不给 UE 分配上行链路许可来阻止 UE 传输。出于这个原因，RN 子帧有时也被称为下行链路子帧。

当 RN 建立到 DeNB 的 RRC 连接时，它在 RRCConnectionSetupComplete 消息中指出 RN 子帧配置的需要。如果要求 RN 子帧配置，则 DeNB 使用 RNReconfiguration 消息提供 RN 子帧配置的信息。收到 RN 子帧配置后，所述 RN 立即应用配置。因此，Uu 和 Un 的子帧上的配置暂时是未对齐的也是可能的，直到 Uu 上的子帧的配置根据 RN 子帧配置改变。

一旦配置完成，RN 子帧配置将一直维持到释放。当 RN 发起一个 RRC 连接重新建立过程或进入 RRC_IDLE 状态，RN 会释放 RN 子帧配置。

13.4.4 系统信息的更新

在 R8 版本中，UE 通过系统信息采集过程获取更新的系统信息（参见 3.2 节）。可以由不同的触发器启动此过程，如收到的寻呼消息、届满的最大有效持续时间（如 3h）、返回覆盖等。当该过程开始时，UE 在预定义的子帧读取系统信息广播，并得到更新的系统信息。更新后的系统信息取代所有过去存储的系统信息。

同样的机制也适用于带外 RN 获取更新的系统信息。由于带外 RN 采用了不同的频率 Un 接口，它可以无任何子帧限制地接收更新的系统信息。

然而对于带内RN来说，它可能不是任何时候都可以接收到更新的系统信息，因为带内RN只监视符合RN子帧配置的Un子帧。因此，我们用专用RRC信令来给带内RN提供更新的系统信息。

在任何与相关RN的系统信息变化时，DeNB使用专用的RRC消息（RNReconfiguration）给带内RN提供更新的系统信息。通过获取过程获得的系统信息和专用信令之间的差异在于专用系统信息包含的RNReconfiguration消息并没有取代所有的存储系统信息，只取代相应的存储系统信息。专用系统信息的优先级高于任何相应的系统信息采集过程所获得的信息，并保持有效，直至覆盖，即，最长有效期持续时间的限制不被应用。

RNReconfiguration消息也可用那些与在系统信息中广播的配置相比不同的参数值配置RN，这对无论是在带内和带外的RN都适用。

13.4.5　RN重新配置过程

正如已经解释的，RN重新配置过程用于配置/重新配置RN子帧的帧的配置和/或更新的系统信息。此过程，具体到RN的操作和用于Uu重新配置的RRC连接重配置过程是独立的。整体的RN的重新配置过程如图13.12所示。

DeNB通过发送一个RNReconfiguration消息给在RRC_CONNECTED的RN启动此过程。在安全性已被激活后，DeNB可以在任何时候发送此消息。RNReconfiguration消息中包含两条信息：RN子帧配置和RN专用的系统信息。RN专用的系统信息，包括系统信息块类型1和2。在施加由RNReconfiguration消息提供的配置后，RN发送一个RNReconfigurationComplete的消息给DeNB作为RN重新配置的确认。然后RN准备好作为一个基站去服务UE。

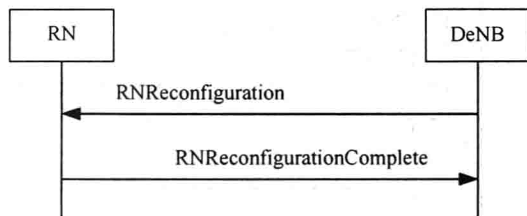


图13.12　RN重配置过程

由© 2011 3GPP许可发布。3GPP™ TSs和TRs是ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA和TTC的财产，并共同拥有版权

13.5　中继节点的启动过程

RN的启动过程使用RN必要的参数使其准备好开始RN操作来配置RN。在上电后，RN执行分两个阶段的启动过程，如图13.13所示。具有两个阶段的原因是，在接通电源时，RN不知道哪些小区被允许连接。由于不是所有的基站都可以服务RN（由于运营商策略、小区负载的情况等），RN需要识别可以支持RN操作的小区。第一阶段便是基于此目的，即获得有关可连接小区的信息。但是如果RN已经知道可连接小区，它可以绕过第一阶段，直接进入第二阶段。只有完成第二阶段的RN可以作为基站为UE提供服务。在第一阶段，RN作为一个传统的UE以同样的方式连接到MME。也

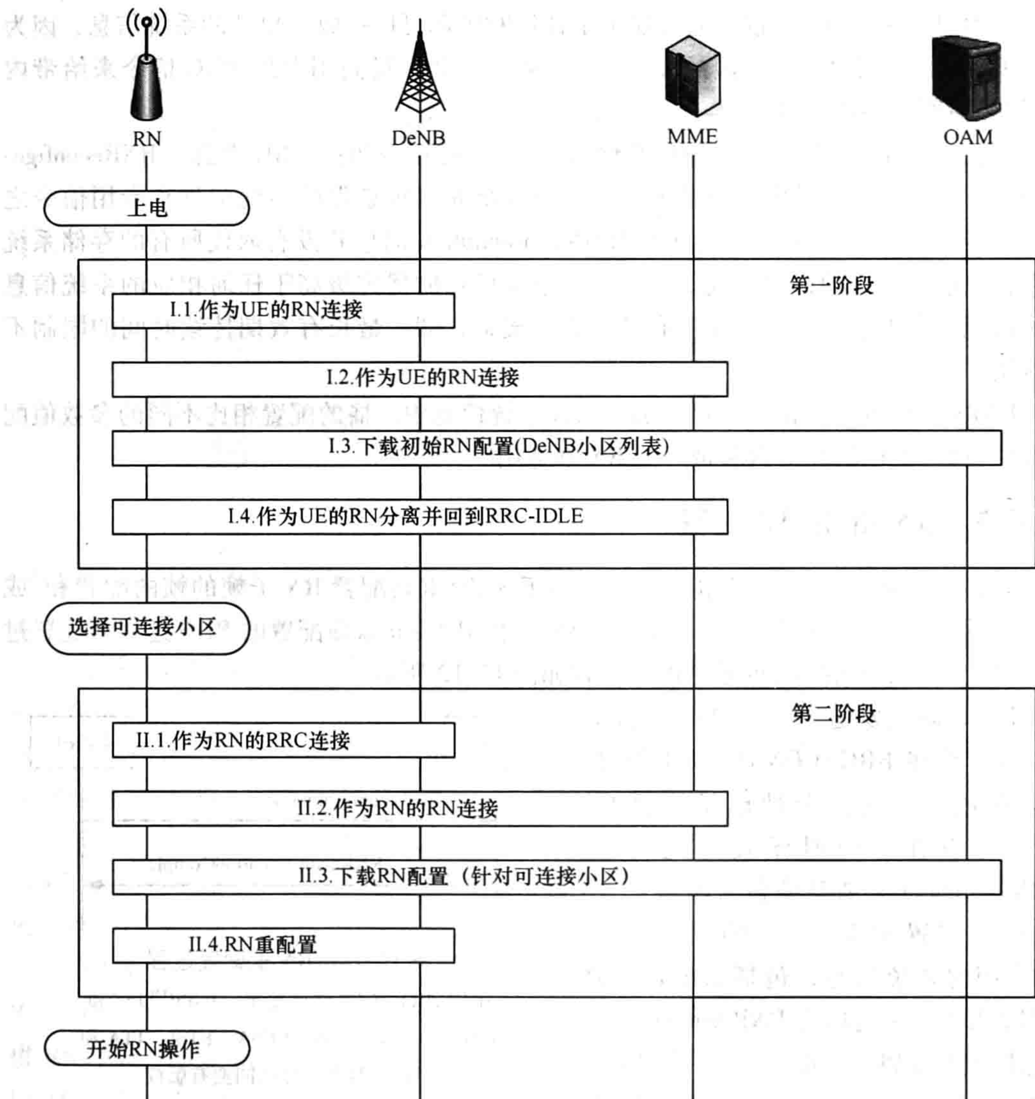


图 13.13　RN 重启动过程

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

就是说，RN 选择无线质量最好的一个小区，创建到基站（eNB）的 RRC 连接，并且执行到 MME 的 UE 连接过程。连接到 MME 后，RN 联系操作管理和维护（OAM）来下载初始 RN 节点配置，包括可连接 DeNB 小区列表。然后，RN 从 MME 分离并且回到RRC_IDLE。

在 RRC_IDLE，RN 在可连接 DeNB 小区列表中选择无线质量最好的小区。RN 为选定的小区创建到 DeNB 的 RRC 连接，第二阶段开始。

在第二阶段中，RN 作为 RN 创建 RRC 连接，与第一阶段 RRC 连接相比这是不同的。在 RRCConnectionSetupComplete 消息中被称为 RN-SubframeConfigReq 的指示器

(indicator)中所包含的内容指出 RRC 连接已经由 RN 触发。在 RRC 连接的 RN 指示对于搜索可用 RN 的 MME 的 DeNB 很有帮助。该指示也指出 RN 是否要求 RN 子帧配置(带内 RN)或(带外 RN)。

当 DeNB 找到一个可用 RN 的 MME，RN 执行到它的 RN 连接过程然后联系其 OAM 下载更多的 RN 配置。在那之后，RN 与 DeNB 建立 S1 和 X2 连接，并且 DeNB 启动一个 RN 的重新配置程序，提供 RN 子帧的配置和 RN 专用系统信息给 RN。然后 RN 准备开始 RN 操作，即它会广播系统信息，并为 UE 接入做准备。

13.6 R10 版本中继节点的简化操作

在 LTER10 版本的开始阶段，中继被认为是 LTE-Advanced 系统的一个重要特征，因此对许多新的功能进行了研究和讨论。然而，由于时间有限，3GPP 决定在 R10 版本只引入一个简单类型的 RN。如 13.1 节中已经解释的，中继的部署场景在农村地区受到覆盖延伸的限制，这意味着，R10 版本 RN 不考虑多跳操作、不同的基站之间的切换和不同的 RN 之间 UE 的移动性。在 R10 版本中只考虑运营商部署的、静止型的、单跳 RN。部署场景的简化，进一步导致了 Un 无线协议的简化。因此，以下特征即便是有用的，也将不被列入 R10 版本中。

第一个特征是在切换时的数据转发。由于无论是 RN 的切换还是 UE 切换都没有被支持，所以我们决定不考虑在 Un 接口的数据转发。但是如果在将来的版本中支持切换，可能需要数据转发，在这种情况下切换中断时间将显著增加。在这时，需要考虑一个机制来减少切换中断时间。

第二个特征是在 Un 接口的下行链路流量控制。由于所述 RN 有两个无线链路，平衡 Uu 和 Un 链路的利用率是很重要的。未充分利用无线链路的无线资源会导致浪费，而过度利用会导致数据包丢弃。因此，重要的是，正确利用两个无线链路。

对于上行链路，无线链路利用率由 RN(对于 Uu 链路来说)和 DeNB(对于 Un 链路来说)控制。因此，控制在每一个无线链路的传输不需要额外的机制。然而，对于在下行链路，也许需要一种流量控制机制来控制 DeNB 的下行链路传输，这取决于 Uu 链路的情况。如果没有流量控制机制，当 Uu 链路拥塞时 RN 可能丢弃从 DeNB 接收到的数据。

在中继讨论的过程中流量控制机制的引入被认为是有用的，但最后却决定在 LTE R10 版本中不引入这样的机制。由于部署场景仅限于在农村地区的覆盖延伸，人们普遍认为，Uu 链路不拥塞。这是流量控制在 R10 版本中被认为不是必不可少的原因。

最后一个功能是在 Un 接口附加的报头压缩。图 13.14 中可以看出，相比 Uu 接口，Un 接口具有额外的 IP/UDP/GTP 层。因此，每一个 Un 数据包中包含除 IP/UDP/RTP 或 IP/TCP 头之外额外的 IP/UDP/GTP 头，如图 13.14 所示。目前的报头压缩机制在 PDCP 的问题是，只有外部 IP 报头被压缩(参见 4.2 节)。即 GTP 和内部 IP/UDP/GTP 或 IP/TCP 头被发送时报头没有压缩。在 Un 接口，这将导致一个很大的报头开销，所

以我们讨论了很多的机制以减少报头开销。

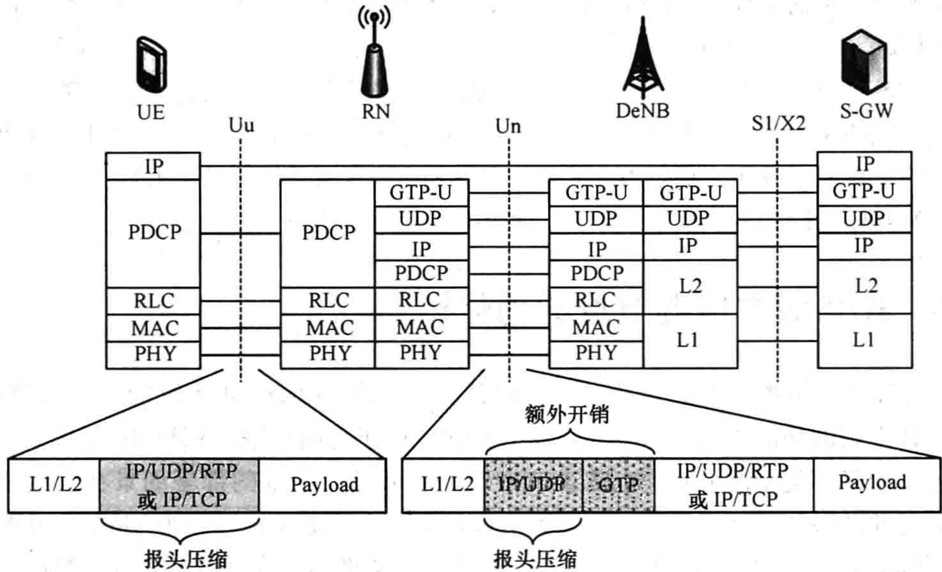


图 13.14 Un 接口中的报头开销

然而，对于流控制，附加的报头压缩在 R10 版本中并不是必不可少的。由于部署场景被限制在农村地区覆盖延伸，可以假设没有很多的数据包通过 Un 接口被发送，并因此由 Un 数据包造成的报头开销不会降低系统的整体性能。

R10 版本 RN 操作不仅避免引入上述新功能，而且一些 Uu 无线协议现有功能也变得不适用。例如，VoIP 支持的功能，如半持续调度（参见 6.4.2 节）、TTI 捆绑（参见 6.8.3 节）和 MBMS 传输（见第 11.3 节），RN 都不支持。这些简化对 RN 的快速实施和部署也有帮助。

参 考 文 献

1. Iwamura, M., Takahashi, H., and Nagata, S. (2010) Relay technology in LTE-Advanced. *NTT DoCoMo Technical Journal*, **12** (2), 29–36.
2. 3GPP Technical Specification 36.300, "E-UTRA and E-UTRAN Overall Description Stage 2 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Report 36.912, "Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第 14 章　最小化路测

到目前为止，运营商已经花费了大量的时间和金钱来优化网络性能，通过收集与分析无线电测量数据来获得适用于网络的最优参数。无线电测量数据通常通过运营商在汽车上的测试设备获得。这些驾驶测试在有关地区周围广泛地收集无线电测量数据。根据所收集的数据，仔细推导出最佳的参数，进一步影响在实验室的分析。

一旦选定最优参数，就会将参数应用到网络并且会进行另一组驾驶测试，对参数调整的影响进行评估。这种校准可能要反复进行，直至达到预期的性能水平。当一个基站是新安装或当建造新的建筑物时，无线电环境可能会发生变化。异构网络的部署（例如，pico/femto 小区），大幅增加无线环境的复杂性。为了保证用户在这种情况下良好的服务质量，更广泛和频繁的驾驶测试是必需的，这增加了运营成本。考虑到这一点，运营商一直在寻求更有效的解决方案。

最小化路测（MDT）是一个在 R10 版本中引入的标准化机制，为运营商提供一个具有成本效益的网络性能优化工具。MDT 的关键是采用正常用户的设备——存在任何时间和任何地方——收集无线电测量数据，如图 14.1 所示。在 MDT 涉及的 UE 需要存储测量结果并且向网络汇报。网络收集很多的 UE 的测量结果，并利用他们微调网络参数。

LTE 和 UMTS 的 MDT 功能在本章参考文献［1］中有详细的概述。注意：本节只专注于 LTE 的 MDT 功能。

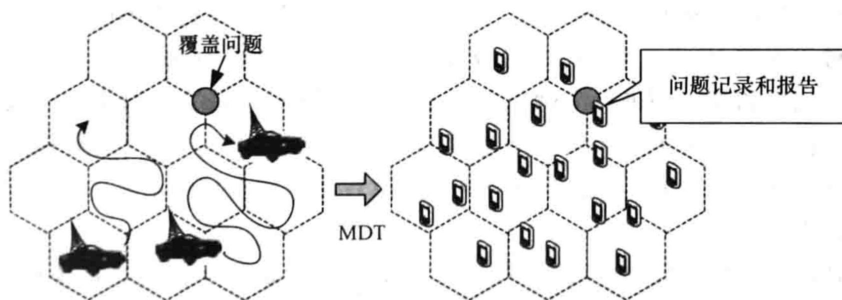


图 14.1　MDT 动机

14.1　结构框架

MDT 是建立在 R10 版本中的控制平面的架构上。MDT 在 R10 版本中的设计原则包括[2]：

1）支持实时和非实时的测量报告；

2）可接受的对终端用户的影响，例如，电池的消耗和内存要求应保持合理；

3）地点和时间的相关性的测量结果，分别表明何时何地得到的测量值。

1. 实时和非实时的测量报告

对于MDT，UE应给网络提供无线电测量结果。测量结果可以在RRC_IDLE和RRC_CONNECTED得到。

在RRC_IDLE中得到的测量结果，因为在RRC_IDLE中UE和网络之间没有连接，所以应使用非实时报告。为了确保非实时的报告，“logging”的概念已经出台。即，非实时的报告是用于在RRC_IDLE测量的收集。涉及测量在RRC_IDLE中记录和在RRC_CONNECTED中汇报的过程被称为记录的MDT。

对于在RRC_CONNECTED获得的测量结果，实时报告已经是可实现的，通过应用3.9节中定义的测量报告程序，发送测量报告后，立即报告准则的满意程度。对于MDT的测量和报告应尽可能地重复使用测量报告过程。在RRC_CONNECTED中的MDT测量和报告有关的程序被称为立即MDT。

2. UE电池消耗和内存要求

MDT的一般设计原则是UE的MDT任务不应牺牲UE性能，因为MDT任务纯粹是为了协助网络优化工作，而不是提供给UE瞬时利益。这样的设计原则是指不应对UE的电池寿命造成严重的影响，应避免或最小化正常数据服务的中断。为了满足设计原则，认真考虑有关MDT程序中的复杂性和电池的消耗。

3. 时间和位置信息

为了分析使用收集的MDT数据的覆盖问题，网络知道何时何地由UE测量是必不可少的。

时间和测量所得到的测定结果之间的相关性可以由UE和网络实现，因为时间信息在UE和网络中无需额外的测量过程。对于记录的MDT，UE提供的时间信息指示测量的时刻。对于即时MDT，因为已实时报告，所以UE不提供时间信息。

然而在测量的那一刻进行准确位置信息的获得是不容易的，因为它带来了一些问题。用户位置信息的采集，严格按照有关当局的监管制度，因此，需要仔细考虑相关的隐私问题。此外，由UE频繁采集的详细的位置信息将会导致明显的电池消耗，这点是用户不能接受的。

考虑到这些问题，3GPP考虑了几个可以使可用性增加的选项。选项包括迫使UE提供精确的位置信息或等效信息，可用于由网络测量的精确位置，例如，通过激活在UE中的LTE定位协议或全球导航卫星系统（GNSS）。然而，R10版本得出的结论是如果仅是为了MDT目的获得精确的位置信息，那么UE不应该被要求执行额外的测量，也就是说，唯一可用的位置信息被包括在MDT测量报告。请注意，3GPP计划研究增加MDTR11版中的详细位置信息的可用性增强。

4. 与MDT相关的跟踪功能

MDT是建立在跟踪功能的框架上，如本章参考文献［3］中定义，在Uu接口RRC信令，定义在本章参考文献［4，5］中。跟踪功能是一个运营商的工具，用于运行、

管理和维护（OAM）。跟踪功能为运营商提供跟踪和记录 UE 活动的能力，因此它能够确定在 UE 处的故障的根本原因。跟踪数据被收集在一个网络节点，所谓的跟踪收集实体（Trace Collection Entity，TCE）。操作员可使用在 TCE 所收集的数据进行分析和评价。用于 MDT 的跟踪功能包括基于信令跟踪功能和管理为基础的跟踪功能。对于特定的 UE，基于信令跟踪功能是用来激活 MDT 任务，而管理为基础的跟踪功能，不指定任何特定的 UE 的情况下，是用于激活 MDT 任务。

从网络的角度来看，MDT 会话包括收集用户同意参与 MDT 任务，启动 MDT 任务与 UE 选择，并收集 MDT 测量数据。在 MDT 会话的细节之前，我们会先研究几个 MDT 的案例。

14.1.1　用户案例

一些参数的优化，例如数据/控制/导频信道的发送功率的调整等，天线位置/倾斜，移动性参数等。在对 MDT 的学习阶段，就以下使用情况进行了审议，如本章参考文献[2]中所指定：

1）覆盖优化：服务覆盖范围是提供服务的根本依据。由于覆盖缺乏会立即降低服务质量，用户会立刻注意到这个问题，并表示不满。因此，运营商协助对 MDT 的覆盖优化是非常重要的。下行覆盖和上行覆盖可单独考虑。

2）移动性优化：对于移动服务，移动性是必不可少的。用 MDT，由于过早切换、过晚切换或者选择了不正确的目标小区切换失败的发生都可以通过信息被传递到网络上，可以帮助网络导出失败的原因。

3）容量优化：对于用户服务质量（QoS）和网络运营管理，在服务区的流量分布是很重要的。MDT 可以帮助网络检测流量工程的位置，如对于安装一个新的基站是必需的。

4）公共信道的参数：广播信道的配置、寻呼信道和随机接入信道直接影响网络和用户的性能。MDT 可用于帮助网络检测到公共信道覆盖，或识别有关的公共信道的性能问题，例如，连接建立时延。

5）QoS 验证：由于运营商的最终目标是提供给用户更好的 QoS，MDT 是适合提供用户 QoS 验证数据的，例如，吞吐量或错误率。

在这些使用的案例中，在 R10 版本 MDT 专注于的覆盖优化使用情况，在 R11 版本 MDT 关注 QoS 验证案例。

14.1.2　结合 UE 选择的 MDT 任务初始化

MDT 任务包括收集测量数据，其中包括无线电测量、用户位置和时间信息对应于测量时刻。收集测量数据的性质可能会引发严重的隐私问题，如果 UE 在未经用户同意的情况下，被迫执行 MDT 部分任务。为了避免隐私顾虑，只有对那些同意用户参加 MDT 任务的 UE，MDT 任务才能被启动。除了用户同意外，MDT 功能必须确保有足够的匿名收集的数据。

AS 层对 UE 提供/撤销或拒绝同意参与 MDT 任务不提供任何机制。取而代之的是，上层有责任确保已批准同意的 UE 用户进行 MDT 任务初始化。通过使用运营商的客户服务收集用户同意信息。用户同意信息驻留在 HSS 中，并被传递给 MME，还可能作为用户订阅信息和 UE 上下文环境的一部分传给 eNB。

如果一个基于信令的跟踪功能被使用，MDT 任务针对基于 IMSI、IMEI-SV 等特定的 UE 而配置，这就是所谓的“基于信令的 MDT”。基于信令的 MDT 的 UE 选择可以由核心网络完成。如果一个管理为基础的跟踪功能被使用时，eNB 接收命令而不指定 MDT 参与的 UE 从核心网的跟踪会话激活 MDT 任务，这就是所谓的“管理为基础的 MDT”。基站接收管理为基础的跟踪会话激活 MDT 选择的 UE 进行 MDT 任务。管理为基础的跟踪会话激活的 MDT 包括区域 MDT 限制。对于 UE 选择，基站综合考虑与 MDT 有关的地区限制和 UE 功能，基站也会考虑从 MME 接收用户同意信息。在选择 UE 为 MDT 任务后，eNB 配置所选择的客户端通过无线资源控制程序来执行 MDT 任务，在跟踪中使用的参数表示会话激活命令。

14.1.3 MDT 测量结果的收集

如果 UE 向 eNB 报告 MDT 测量结果，它们被传递到跟踪收集实体（TCE）。接收 MDT 测量报告的 UE 负责将 MDT 测量结果发送给正确的 TCE。

在 Logged MDT 的情况下，由 UE 发送的 MDT 测定报告包括由 eNB 翻译成的 TCE 的 IP 路由用途的 TCE ID。在 Immediate MDT 的情况下，eNB 知道关心的 UE 相关联的 TCE IP，作为 UE 上下文环境的一部分。TCE IP 是用来识别该 TCE，MDT 的从 UE 接收的测量结果应传送到该 TCE。TCE 收集 MDT 测量结果然后用作网络性能优化的原料。

14.2 Logged MDT

Logged MDT 的过程是，由该 UE 执行测量结果的记录和记录测量结果的报告。日志记录的定义，UE 存储和累积的测量结果在其内存中。符合报告条件之后，记录的测量结果上报。如图 14.2 所示为 Logged MDT 的概念。在该图中，配置 Logged MDT 的 UE 在几个小区间记录测量结果。客户端进入 RRC_CONNECTED 后，报告已登录的服务小区的测量结果。

图 14.3 说明了一个 Logged MDT 会话的例子。此图中未显示与用户同意和用户选择的配置相关的程序。Logged MDT 的 UE 行为包括 4 个阶段：配置、记录、报告和后报告。每个阶段的详细描述在下面的章节。

图 14.3 中所示，MDT 任务通过 RRC 消息配置给 UE（配置阶段）。如果 UE 进入 RRC_IDLE，当记录时间计时器（T330）运行时（记录），UE 启动测量结果的记录。当 UE 进入 RRC_CONNECTED 并携带可报告的记录的测量结果，它可能会被要求报告记录的测量结果（报告期）。记录阶段和报告阶段可以在记录时间计时器之前发生多次。后报告阶段，如虚线所示，用来防止 UE 在记录时间计时器到期之后仍然没有报告

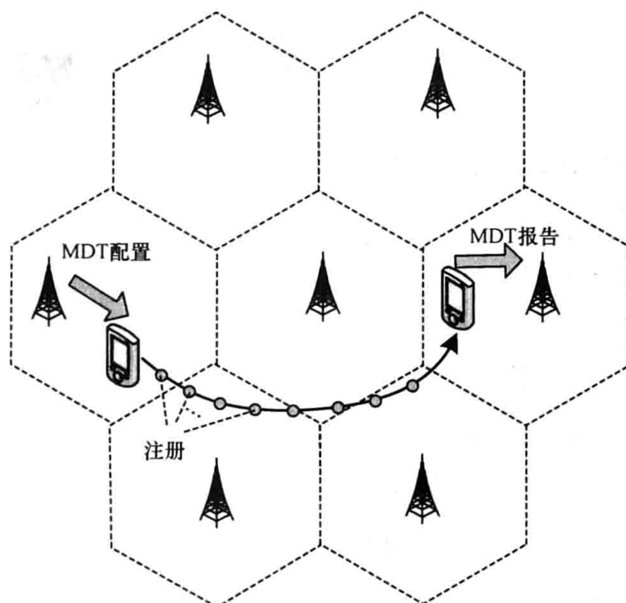


图 14.2　Logged MDT 概念

记录测量结果（后报告阶段）。

UE 通过包含 loggedMeasurementsIdle 信息来通知网络对 Logged MDT 的支持。UE 能力还包括 standaloneGNSS 位置，表示支持全球导航卫星系统（GNSS）定位。

对于支持 Logged MDT 的 UE，应保留至少 64B 的内存，用于存储记录的测量结果。64B 被认为是用于 UE 的最小大小，能够存储 3h 的记录的测量结果。由于假设跟踪区域更新程序 UE 留在 RRC_IDLE 时间不会超过 3h，基于这样的假设确定的持续时间为 3h。

需要注意的是，当 UE 处于关闭状态，测量配置和相关 Logged MDT 记录的测量结果将被丢弃。

14.2.1　配置阶段

一个 UE 发起 Logged MDT 的任务后收到记录的 MDT 测量配置。记录的测量配置用于配置 Logged MDT 的 UE，如在图 14.4 中示出。配置消息包括几个参数，这些参数用来给 UE 定义 MDT 任务。参数在表 14.1 中说明。

Logged MDT 配置的参数包括记录参数、时间信息、跟踪信息和 MDT 区域配置：

1. 记录参数

1）logging Duration 定义的持续时间，UE 需要执行对测量结果的记录。在本章参考文献［4］中的 T330 和与记录持续时间有关的定时器保持一致。T330 到期后，UE 停止记录，并释放 Logged MDT 配置，但存储记录的测量结果。

2）记录间隔定义的周期性记录测量结果。

图 14.3 Logged MDT 信令流案例

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB，ATIS，CCSA，ETSI，TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

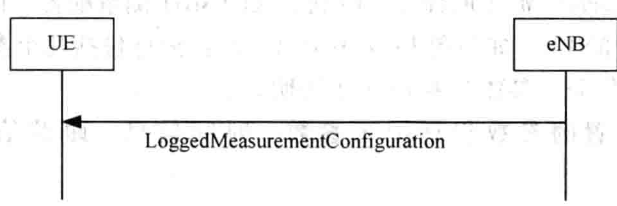


图 14.4 Logged MDT 配置

2. 参考时间

absolute TimeInfo 是由 UE 使用的基准时间，标记一个时间戳到记录阶段的测量结果。该时间戳由基准时间记录经过的时间。

表 14.1　Logged MDT 配置参数

参数设置	依据本章参考文献［4］的几个字段	描　述	取值范围或数据格式	存　在
记录参数	logging Duration（associated with T330）	UE 执行记录测量所需的持续时间	10～120min	强制的
	loggingInterval	周期	1280～61440ms	强制的
时间	absoluteTimeInfo	参考时间	YY-MM-DD HH：MM：SS BCD 编码	强制的
跟踪信息	traceReference	跟踪参考，在本章参考文献［3］中定义	（见左列）	强制的
	traceRecordingSessionRef	跟踪记录会话参考参数、在本章参考文献［3］中定义	（见左列）	强制的
	tce-Id	跟踪收集实体 ID 参数，在本章参考文献［3］中定义	（见左列）	强制的
区域	areaConfiguration	需要 UE 执行测量记录和报告的区域	小区表单或跟踪区域表单	可选择的

3. 跟踪信息

1）traceReference 是一个跟踪参考，如本章参考文献［3］中所定义。

2）traceRecordingSessionRef 是跟踪记录会话参考，在本章参考文献［3］中给出定义。

3）tce-Id 是跟踪收集实体 ID，在本章参考文献［3］中给出定义。为了避免安全风险，对于 UE 不是给出 TCE IP，而是给出 TCE ID，否则 UE 会存在安全风险。eNB 执行 TCE IP 到 TCE ID 的映射过程。

4. 区域配置

UE 被要求进行记录和报告的区域。

14.2.2　记录阶段

当配置 Logged MDT 时，UE 需要执行对测量结果的记录。UE 记录在小区重选的测量过程中获得的测量结果。在这些测量值以外，UE 不执行额外的测量。

UE 根据几个条件来决定是否执行记录。UE 执行记录，当且仅当所有符合下列条件：

1）记录持续时间条件：记录时间计时器（T330）运行。

2）RAT 条件：UE 驻留在 E-UTRA 小区。

3）RRC_IDLE 状态条件：UE 在正常情况下驻留。

4）PLMN 条件：当前小区的注册的 PLMN 与注册的 PLMN 的小区是相同的。

5）区域条件：UE 当前驻留在属于有关区域的小区。

如果任何上述条件不满意，应暂停记录。需要注意的是，当记录被暂停，记录的测量结果是不被丢弃的，直到它们被报告或丢弃条件得到满足。

为简单起见，只有定期的日志记录记录的 MDT 支持版本 10；也就是说，基于事件的记录不被支持。记录的周期由记录间隔定义。

当 UE 进行记录，记录的测量结果被存储在 LogMeasInfoList，本章参考文献［4］中所定义。LogMeasInfoList 是日志条目的列表。每个日志条目对应到 LogMeasInfo。LogMeasInfo 的内容列于表 14.2 中。

表 14.2 每个日志条目的参数

参数设置	依据本章参考文献［4］的几个字段	描　述	存在
服务小区身份	servCellIdentity	服务小区的全球小区身份	强制的
服务小区的	rsrpResult	服务小区的测量的 RSRP	强制的
测量结果	rsrqResult	服务小区的测量 RSRQ	强制的
邻近小区的	measResultListEUTRA	E-UTRA 小区的测量结果	可选的
测量结果	measResultListUTRA	UTRA 小区的测量结果	可选的
	measResultListGERAN	GERAN 小区的测量结果	可选的
	measResultListCDMA2000	CDMA2000 小区的测量结果	可选的
时间戳	relativeTimeStamp	记录测量结果的时间 以秒计算当前时间减去 absoluteTimeStamp	强制的
位置信息	locationInfo	记录时刻详细的位置信息	可选的

每个日志条目包括服务小区的信息、相邻小区信息、时间信息和地点信息。相邻小区和位置信息如果可能则包含。

服务小区的信息包含小区全局标识符（ECGI = PLMN ID + cell ID，在 PLMN 中的 cell ID）、服务小区的 RSRP 和 RSRQ 测量结果。

根据 UE 的性能，相邻小区信息跨越 E-UTRA 小区、UTRA 小区、GERAN 小区、CDMA2000 小区的测量结果，采用递减的用于小区重选顺序的排序准则记录相邻小区的测量结果。在每个日志条目中，对于 EUTRAN/CDMA2000 小区，每个频率最多有 6 个频率内相邻小区和 3 个频率间相邻小区，每个频率集合中的频率有 3 个 GERAN 小区。

每个日志条目中包含一个时间戳。为了减少信息的大小，UE 包括相对的时间。计算公式为当前时间减去绝对时间戳。

如果可用的话，位置信息也包括指示测量的位置。位置信息包括强制性 locationCoordinates 和可选 horizontalVelocity 信息。

在记录持续时间的定时器超时前，为 MDT 存储保留记录的内存有可能只存测量结果。在这种情况下，UE 以同样的方式行动，如它会在日志记录时间计时器届满后（即 UE 停止记录）解除记录 MDT 的配置，进入后报告阶段。

14.2.3 报告阶段

记录的测量结果经由称为 UEInformationResponse 的 RRC 消息报告给网络。当一个 UEInformationResponse 消息包含记录的测量结果，它通过 SRB2 发送，这通常是用于带有较低优先级的消息，因为记录的测量结果相比报告的其他 RRC 消息不太紧迫。

基本报告机制是“按需”报告，也就是说，UE 只能在网络请求客户端报告时，报告记录的测量结果。使用这一需求的机制是合理的，因为 UE 不知道当前服务小区是否可以解码，或对收到的已记录的测量结果是否有兴趣。如果基站繁忙，即使在服务小区可以解码所记录的测量结果，基站也可能要推迟接收它们。

对于按需申报工作机制，基站需要知道是哪个 UE 受 MDT 报告的，即，不论该报告是否是 UE 已经记录的测量结果报告。出于这个目的，我们引入了一种机制，由此 UE 向 eNB 指示记录的测量结果报告。收到此指示后，eNB 可以决定是否要检索记录的来自 UE 记录的测量结果。

14.2.3.1 记录测量信息结果的可用性

为了使 eNB 决定是否调用日志检索过程，如果满足以下条件，记录测量结果的 UE 指示它们可用的 eNB。eNB 表明它们的

1）记录可用性条件：UE 已经记录测量结果的报告。

2）RAT 条件：UE 驻留在 E-UTRA 小区。

3）PLMN 条件：当前小区注册的 PLMN 和 UE 接收到记录的 MDT 配置信息的小区有相同的注册 PLMN。

鉴于所有条件都得到满足，UE 指示记录的测量结果的可用性。在以下的 RRC 消息中，可用性指示可以通过包含 logMeasAvailable 来实现。

1）在 RRC 连接建立过程中的 RRCConnectionSetupComplete 消息；

2）在 RRC 连接重新建立过程中的 RRCConnectionReestablishmentComplete 消息；

3）切换过程中的 RRCConnectionReconfigurationComplete 消息。

UE 在每一个 RRC 状态转换时指示记录的测量结果，从 eNB 层面上看，这使得一个灵活的日志检索策略成为可能。

14.2.3.2 日志检索

无线接口上的日志检索是由 eNB 和 UE 之间的 UE Information 程序执行的，如图 14.5 所描述。在收到一个日志可用指示后，eNB 通过发送一个包含 logMeasReportReq 的 UEInformationRequest 信息，向 UE 请求一份 MDT 测量报告，用来指示请求记录的测量结果。UE 响应一个包含 logMeasReport 的 UEInformationResponse，其中包含记录的测量结果。

当接收到一个对记录的测量结果的请求时，UE 将检查下列条件：

1）记录可用性条件：UE 有记录的测量结果要报告。

2）RAT 条件：UE 驻留在一个 E-UTRA 小区。

3）PLMN 条件：当前小区注册的 PLMN 和 UE 接收到记录的 MDT 配置信息的小区有相同的注册 PLMN。

如果上述所有的条件都满足，UE 通过将表 14.3 所示的参数设置为 logMeasReport，构造一个 UEInformationResponse 消息。如果上述条件有任何一个不满足时，UE 就通过 SRB1 发送一个空的 UEInformationResponse（消息中什么都不包括）。如果包含记录的测量结果的 UEInformationResponse 报告成功时，UE 就从内存中删除该记录的测量结果。

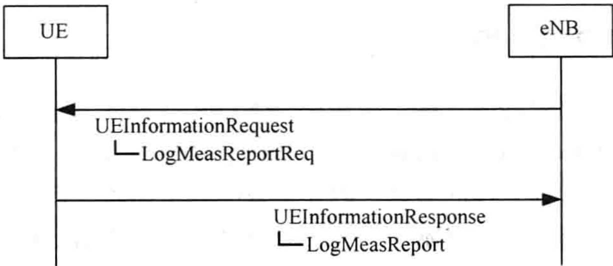


图 14.5 用于日志检索的 UE 信息程序

表 14.3 用于 Logged MDT 日志的 UEInformationResponse 参数

参数设置	依据本章参考文献 [4] 的几个字段	描述	存在
日志时间	logMeasInfoList absoluteTimeStamp	日志条目表单 Logged MDT 配置时 eNB 收到的参考时间跟踪参考，在本章参考文献 [3] 中定义	强制的 强制的
跟踪	traceReference traceRecordingSessionRef tce-Id	跟踪记录会话参考参数，在本章参考文献 [3] 中定义 跟踪收集实体 ID 参数，在本章参考文献 [3] 中定义	强制的 强制的
分段日志发送	logMeasAvailable	UE 存储的附加日志指示	可选的

当 UE 构造 logMeasInfoList 时，UE 按时间顺序放置每个日志项，从这时起日志项就生成了。包含在 logMeasInfoList 中的日志项的大小应不超过一个 PDCP SDU 的最大值（8188B）这个大小和 RRC PDU 的最大尺寸相对应。由于尺寸的限制，由客户端来决定包含在 UEInformationResponse 中日志项的数目。

14.2.3.3 多日志检索

存储在存储器中 MDT 的记录的测量结果可能超过 PDCP SDU 的最大值，因为保留用于存储记录的测量结果的内存大小为 64 KB，这是 PDCP SDU 的最大值的 8 倍。为了处理这个问题，而又不会失去所记录的测量结果，UE 应该可以通过报告多个 UEInformationResponse 消息，提供在多个段中有用的记录测量结果。

如果除了包含在 UEInformationResponse 中记录的测量结果，仍要恢复有记录的测量结果，这时通过允许 UE 在 UEInformationResponse 中指示记录可用性（logMeasAvailable）实现经由多 UEInformationResponse 消息发送的分段日志。UEInformationResponse 中的日志可用性指示使 eNB 意识到另一个日志检索的必要性。图 14.6 示出多个日志检索的一个例子，其中 UE 在第一 UEInformationResponse 包含日志可用性指示。由于在本例中第二个 UEInformationResponse 清空为 UE 中 MDT 保留的内存空间，日志可用性就不被包含在第二个 UEInformationResponse 中。

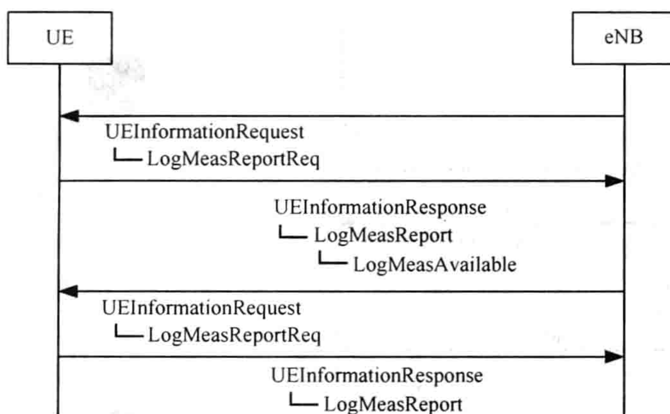


图 14.6 对于日志检索的多 UE 信息程序的使用

14.2.3.4 后报告阶段

记录持续时间时满后，UE 仍很有可能有尚未被网络检索的记录的测量结果。定时器时满可能发生在任何时间，例如，在 RRC_IDLE 中的日志检索不可能时，驻留在非 E-UTRA 小区时，或者网络正常用户业务超载时。由于定时器时满而导致还没有被报告给网络的记录的测量结果被丢弃，这将是我们非常不希望看到的。

为了提供给网络检索记录的测量结果的机会，即使在记录计时满后，UE 仍需保持还没有被报告的记录的测量结果达 48h。这个时间长度对 UE 和网络用来成功检索网络残留记录的测量结果是足够的。在此后报告的阶段，UE 执行正常的日志报告程序，如上所述，即指示日志的可用性，如果合适，通过网络请求报告记录的测量结果。

14.3 Immediate MDT

Immediate MDT 是当一旦报告的条件得到满足后，UE 用来执行测量和报告测量结果的程序。在 RRC_CONNECTED 中所有与 Immediate MDT 有关的行为都适用于 UE。

Immediate MDT 的一般原则是，如本章参考文献［4］中定义的现有的 RRM 的测量和报告机制，尽可能地被重用。在支持 R10 版本中 Immediate MDT 唯一需要增强的功能是，UE 可以被配置为标记精确的位置信息，如果可行的话，把测量结果报告给网络。测量结果上标签的精确的位置信息协助网络将报告的测量结果和测量位置关联起来。

UE 发送的测量报告中不包含时间信息。取而代之的是，当 eNB 接收到 Immediate MDT 测量报告时，eNB 将时间信息附加到包含 UE 报告的测量结果和位置信息的跟踪记录里。这是可能实现的，因为 MDT 报告是实时的。

支持 Immediate MDT 对所有的 UE 来说是必需的，因为 Immediate MDT 过程是完全基于现有的 RRM 测量程序。

图 14.7 给出了一个 Immediate MDT 过程的例子，重点是 RRC 信令。注意，有关用户同意和用户选择 MDT 任务的配置在该图中未示出。Immediate MDT 程序包括三个阶段：配置、测量和评价以及报告。详细的每个阶段如下面的章节所描述。

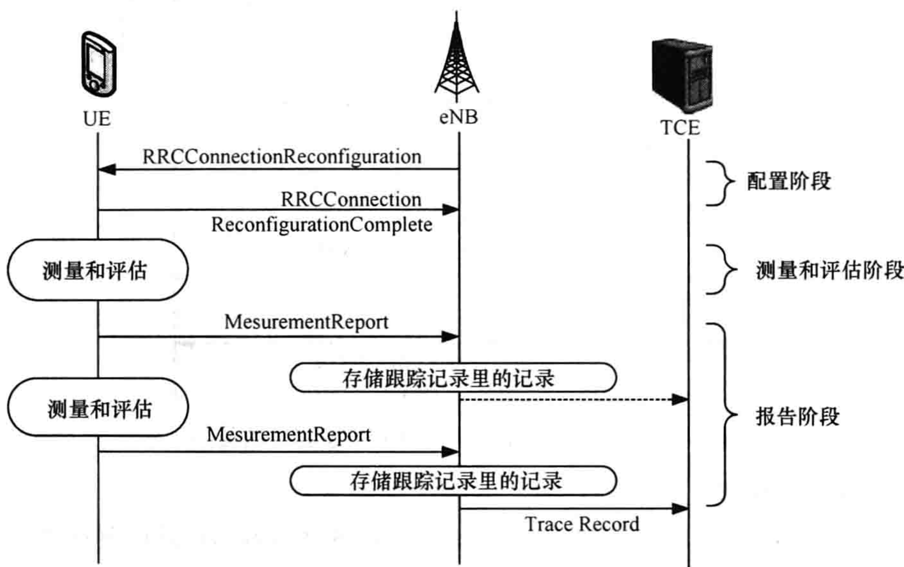


图 14.7　Immediate MDT 信令流举例

14.3.1　配置阶段

正常 RRM 测量配置被用于 Immediate MDT 配置，如图 14.8 所示。需要注意的是定期测量报告和事件 A2-triggered 测量报告对 R10 版本中的 Immediate MDT 报告条件来说是适用的。和正常 RRM 测量唯一的区别是，对于 Immediate MDT 来说，如果可行的话，eNB 可能请求 UE 在 RRM 的测量报告中包括精确的位置信息，这通过在测量配置的报告配置中包括 includeLocationInfo 的方式实现。

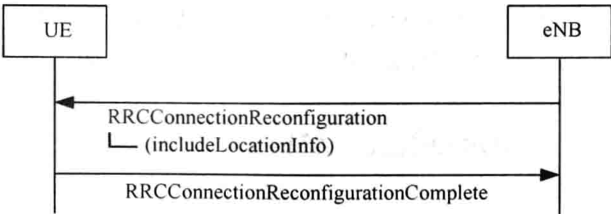


图 14.8　Immediate MDT 配置

14.3.2　测量与评价阶段

UE 根据正常 RRM 测量的配置测量执行测量；也就是说，正常 RRM 测量和为 Immediate MDT 存在而执行的 RRM 测量是没有区别的。除了 R10 版本中为 Immediate MDT 定义的现存报告条件外没有其他多余的报告条件评估事件。

14.3.3　报告阶段

报告行为和正常 RRM 测量中的行为是相同的，除非网络已请求 UE 在Measurement Report 中包括精确的位置信息。

可以被包括在 Immediate MDT 的 MeasurementReport 中的参数在表 14.4 中列出。

表 14.4　即时 MDT 测量报告中的参数

参数设置	依据本章参考文献［4］的几个字段	描　述	存　在
RRM 测量结果		（见左列）	依据本章参考文献［4］
位置信息	ellipsoid-Point	本章参考文献［6］中定义的参数椭球点	如果配置了包含位置的信息并且详细的位置信息是可获得的
	ellipsoidPointWithAltitude	参数 EllipsoidPoint WithAltitude 在本章参考文献［6］中被定义	
	gnss-TOD-msec	参数 Gnss-TOD-msec 在本章参考文献［6］中被定义	

14.3.4　MDT 上下文环境转发

在 LTE 内切换时，一般原则是将 UE 上下文环境从源小区转发到目标小区，并且目标小区负责准备适用于该 UE 的有效配置。然而，对切换时 Immediate MDT 配置的处理依据 UE 配置的 MDT 任务而不同。

如果 Immediate MDT 是由一个基于信令的追踪功能配置的，源 eNB 就将 Immediate MDT 配置转发给目标 eNB，使得该 UE 的 MDT 任务在移动后可继续执行。然而，如果 MDT 任务是由一个基于管理的追踪功能配置的，Immediate MDT 配置就不被转发。

即使在区域限制被配置，目标 eNB 不属于有关区域的条件下，在切换时转发 MDT 配置信息。在这种情况下，目标 eNB 负责为 UE 保持一个有效的配置，比如，释放一部分在该地区不适用的配置。

参 考 文 献

1. 3GPP Technical Specification 37.320, "Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
2. 3GPP Technical Report 36.805, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Study on minimization of drive-tests in next generation networks (Release 9)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 32.422, "Telecommunication management; Subscriber and equipment trace; Trace control and configuration management (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 36.304, "User Equipment (UE) procedures in idle mode (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
6. 3GPP Technical Specification 36.355, "LTE Positioning Protocol (LPP) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

第 15 章　增强型小区间干扰协调

在 LTE 网络中，一个小区的频率资源可以被相邻的周边小区重复使用，以最大限度地提高频谱的使用效率，这意味着频率重用因子通常为 1。当使用这样一个完整的频率复用操作，小区间干扰是无法避免的。

图 15.1 示出了在正交频分多址接入（OFDMA）网络中的相邻小区之间的小区间干扰[1]，其中在某个小区中分配给某个用户设备（UE）的资源块在时域和频域与在另一个小区中分配给另一个 UE 的资源块重叠。重叠的资源块使两个 UE 产生相互干扰。

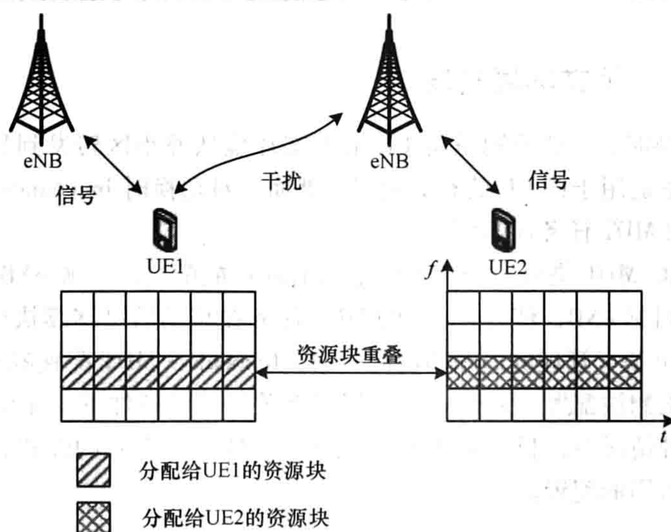


图 15.1　无线资源块重叠引起的小区间干扰

这样的小区间干扰会降低与这些资源块有关的信干噪比（Signal to Interference plus Noise Ratio，SINR）。其结果是，传输失败的比例增加，然后资源利用率受到严重影响。如果 UE 处于小区边缘，并且在服务小区得到的测量电平与相邻小区的测量电平变得几乎不相上下时，小区间干扰的影响会更加严重。除非有合适的机制来管理这样的小区间干扰，否则目标服务质量（QoS）不能得到保证。

3GPP 引入了以下的小区间干扰协调（Inter-Cell Interference Coordination，ICIC）管理，如在 LTE 中小区间干扰的机制：

1）在 R8/9 版本考虑频域 ICIC；

2）在 R10 版本考虑基于载波聚合的 ICIC；

3）在 R10 版本考虑时域 ICIC。

以下章节描述了网络部署场景，其中小区间干扰是适当的，并且 LTE 支持 ICIC 机制。

15.1　异构网络部署

同构网络是指网络根据体系结构要求、服务覆盖范围等具有类似的特征。在同构网络，通常宏演进型 NodeB（eNB）通过使用高发射功率提供广覆盖，它们与相邻的基站和核心网络节点相互联系。在这样的网络中的小区站点的位置需要仔细规划，使得这些小区之间的相互干扰可以最小化。

虽然同构网络部署主要是被 3GPP 看重，但用户需求的数据流量在整个服务区域是不同构的。例如，在具有许多用户的拥挤的目标市区，所需容量远高于其他区域。此外，由于智能手机的广泛普及，移动流量的急剧增加是一个全球性的趋势。

面对异构的需求和移动网络上的数据流量的爆炸式增长，运营商实现同构网络部署并不总是最好的解决方案，因为获得新的宏小区站点是一个不简单的工作并且宏小区的运营成本是非常高的。此外，收购新的频谱，以容纳更多的数据流量通常需要花费高昂的费用。因此，运营商开始关注这种小小区在宏小区之上进行层叠覆盖的低成本异构网络部署的优势。这些小小区可以用来提升在高密度的流量热点的容量，如机场、商场、大型写字楼等。此外，小小区用较低的成本在宏小区难以到达的区域提供服务覆盖，例如在室内和地下地区。

利用上并列配置、在宏小区重叠覆盖的小小区的部署的网络通常被称为异构网络。当谈到小小区，我们通常想到 Pico 小区和 Femto 小区，如图 15.2 所示。

Pico 小区可被所有用户访问，而且是通过 X2 接口互相连接到邻近的小区，如宏小区。然而，Pico 小区的覆盖范围比宏小区少得多，因为 Pico 小区的发送功率仅几瓦。

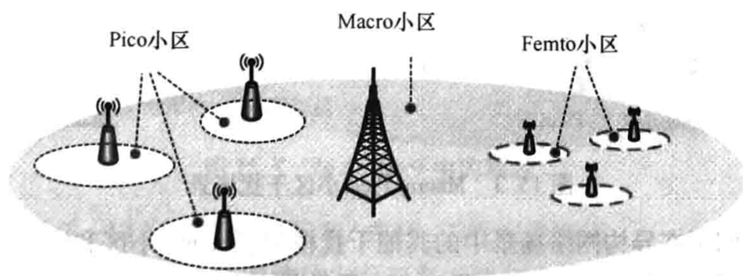


图 15.2　异构网络部署

Femto 小区仅可由闭合用户组（CSG）的成员访问。应注意的是，当 Femto 小区在增强型小区间干扰协调的报文中提到，Femto 小区通常指的是由家庭基站服务的 CSG 小区。由于家庭增强式 eNB（HeNB）是客户端设备部件，X2 接口可能无法使用（见 9.1.4 节）。Femto 小区比 Pico 小区的覆盖面积更少。

表 15.1 描述了 3GPP 中异构小区特性。

表 15.1　3GPP 中的异构小区

小 区 类 型	Tx 功率/dBm	用 户 接 入	相邻小区的互连	放置点
宏小区	46～49	对所有用户开放	X2	室外和室内
Pico 小区	24～30	对所有用户开放	X2	室外和室内
Femto 小区（CSG 小区）	20	仅对 CSG 成员开放	无/有限的 X2	常室内

15.1.1　异构网络中的干扰

虽然异构网络部署的引入提供了一种提高网络效率的低成本解决方案，它也带来了一个在移动网络运营的干扰管理方面的严重挑战，其并不与同构网络共存。如果没有精细地干扰管理，在异构网络中的预期好处是无法实现的。

图 15.3 说明在异构网络场景的干扰模型，Pico 小区和 Macro 小区部署在同一频率上。Pico 小区用来分担宏小区的流量。这种情况通常被称为 Macro-Pico 小区场景。在该图中，Macro 小区对由 Pico 小区服务的 UE 造成强烈的干扰，尤其是当 UE 被定位在 Pico 小区边界。此 UE 被称为“Pico UE”。在这个 Macro-Pico 小区的情况下，宏小区是一个产生强干扰的小区，导致 Pico UE 的干扰，Pico 小区是遭受由宏小区所产生的干扰的小区，即受到强干扰的小区。

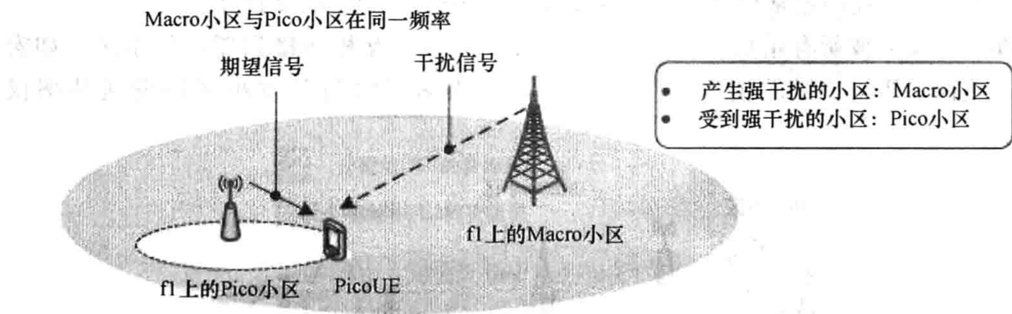


图 15.3　Macro-Pico 小区干扰场景

图 15.4 说明了在异构网络场景中的其他干扰模型，Femto 小区和宏小区部署在同一频率上。这种场景通常被称为 Macro-Femto 小区场景。由于 Femto 小区仅由 CSG 成员访问，故 Femto 小区的覆盖范围被看作是一些 UE 的覆盖盲区，这些 UE 是由宏小区服务的并且不是 Femto 小区的 CSG 成员。此 UE 被称为“宏 UE”。在此 Macro-Femto 小区的场景中，Femto 小区是对宏 UE 造成干扰的小区并且宏小区是由 Femto 小区造成的受干扰小区。

15.1.2　频域 ICIC 限制

在 R8/9 版本中，ICIC 基于频域协调，相邻小区间避免使用相同的资源块。ICIC 可以应用到上行链路和下行链路，如在图 15.5 中示出。对于上行链路 ICIC，相邻小区通过使用 X2 接口的负载信息信令交换上行链路的干扰的信息。交换的信息可以包括一

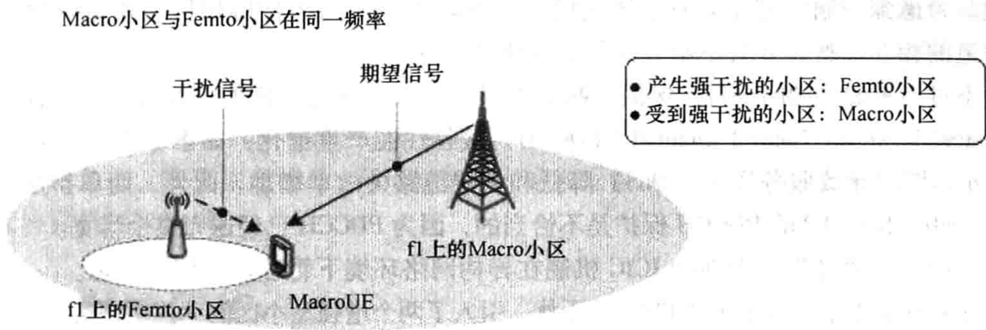


图 15.4　Macro-Femto 小区干扰场景

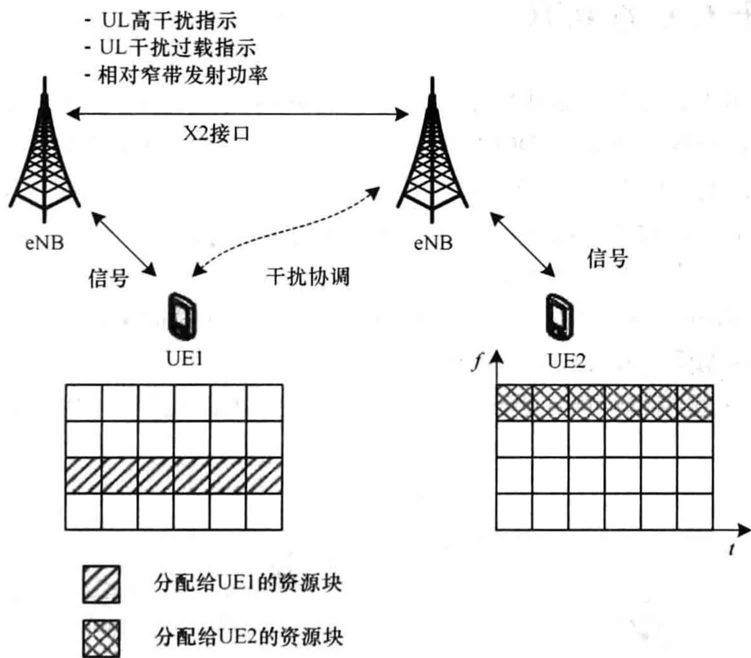


图 15.5　版本 R8/9 中的频域

个上行链路（Uplink，UL）高干扰指示和/或 UL 干扰过载指示。

UL 高干扰指示提供与每个资源块的上行链路干扰发生有关的信息给相邻小区。当接收到 UL 的高干扰指示，相邻小区可避免在指定的资源块上调度。

UL 干扰过载指示提供了每个资源块中上行链路上的干扰电平信息。接收到 UL 干扰过载指示的小区可以降低被指出的资源块上产生的干扰。

对于下行 ICIC，相邻的小区交换潜在的下行干扰信息，相对窄带发射功率（Relative Narrowband Tx Power，RNTP），通过使用在 X2 接口的负载信息报文。对于每一个资源块，RNTP 指示出资源块的传输功率是否大于一定的阈值。在接收到该信息后，相邻小区可以避免在被指出高功率传输的资源块上调度。

可以使用频域小区间干扰协调机制以减少小区间干扰，尤其是在同构网络部署的

情况。考虑到控制信道比业务信道更健壮，频域的小区间干扰协调机制着重于解决业务信道的相互干扰，并且不给控制信道提供任何保护。

不过当考虑异构网络时，保护控制信道成为了一个挑战。例如，物理下行控制信道（Physical Downlink Control Channel，PDCCH）接收性能严重退化，如本章参考文献［2］中所示，同时导致服务质量（QoS）降低和无线链路失败率增加。此外，简单扩展频域ICIC，如应用RNTP的PDCCH保护是不恰当的，因为PDCCH已经遍布整个带宽。

因此，需要开发一个新的ICIC机制在异构网络环境下管理控制信道干扰。

在R10版本中，对于协调PDCCH干扰，引入了两个增强型小区间干扰协调机制：基于载波聚合（CA）的ICIC机制和时域的ICIC机制。在后面的章节中将会详细描述每个机制。

15.2 基于CA的ICIC

在R10版本中，控制多载波频率的多小区的eNB可支持CA。如果支持CA，eNB可以以如下方式跨载波调度：PDCCH从一个服务小区的载波频率为另一个服务小区的载波频率调度传输，如12.2.4节中描述。

当eNB控制产生强干扰的小区和受到强干扰的小区时，基于CA的ICIC是适用的。列举如下实例：其中产生强干扰的小区是宏小区，受到强干扰的小区是远端射频头（Remote Radio Heads，RRH）小区（见12.1.2节）。在这样的情况下，eNB通过跨载波调度可避免在相同的载波频率上使用PDCCH。

图15.6示出在Macro-Pico小区场景下基于CA的ICIC机制。在图15.6中，宏UE

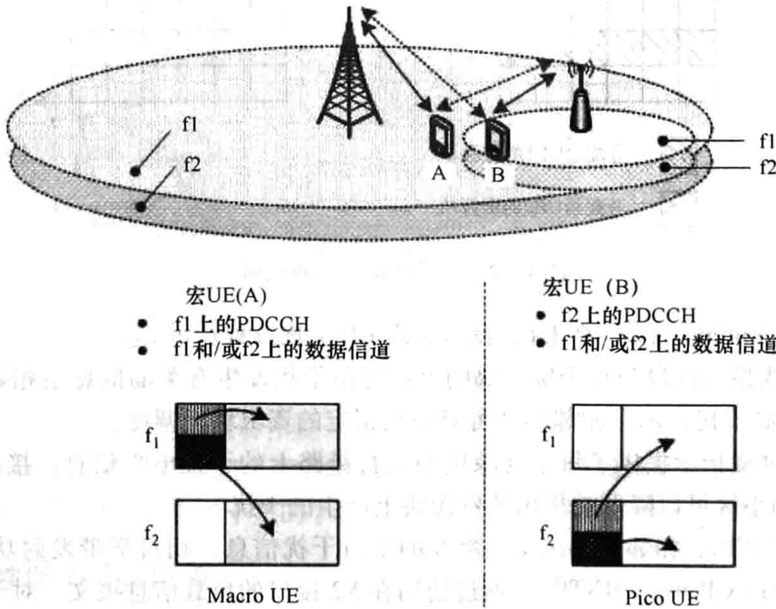


图15.6 基于CA的ICIC机制

和 Pico UE 都与 CA 进行配置。对于 Pico 小区附近的宏 UE，宏小区通过使用跨载波调度，利用 f_1 上的 PDCCH 调度 f_1 和 f_2 的数据信道。对处于 Pico 小区边缘的微微 UE，Pico小区通过使用跨载波调度，利用 f_2 上的 PDCCH 调度 f_1 和 f_2 的数据信道。

由于在宏小区和 Pico 小区在不同的频率上利用 PDCCH，在 PDCCH 上的相互干扰是可以避免的。需要注意的是，在 R8/9 版本中数据信道的干扰可以通过频域的小区间干扰协调机制来协调。

15.3　时域 ICIC

时域 ICIC 的概念是使子帧分成两组，这样一来产生强干扰的小区和受到强干扰的小区使用不同的子帧集合。具体而言，产生强干扰的小区通过减少在某些特定子帧上调度来使其静默，抑制对受到强干扰的小区的干扰。受到强干扰的小区调度强干扰小区的 UE 产生静默子帧，从而抑制来自产生强干扰小区的强干扰。由于静默子帧的干扰电平是相当低的，在静默子帧上调度的受到强干扰的小区 UE 可以准确地接收到 PDCCH。图 15.7 说明了时域 ICIC 的概念。

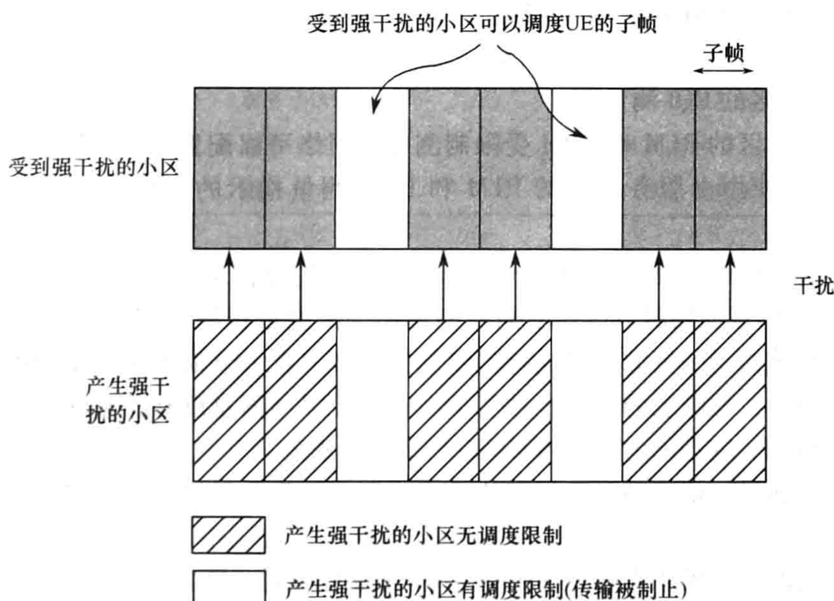


图 15.7　时域 ICIC 概念

在静默子帧期间，产生强干扰的小区停止使用流量信道，但仍保持广播一些必要的信令和信息。这就是为什么静默子帧被称为一个几乎空白子帧（Almost Blank Subframe，ABS），而不仅仅是一个空白子帧。在 ABS 上广播必要的信令和信息是为支持向后兼容性，即容纳不支持时域 ICIC 的 UE。在 ABS 上发送的信令和信息包括主同步信号（Primary Sync Signal，PSS）、次级同步信号（the Secondary Sync Signal，SSS）、主信息块（MIB）、系统信息块 1（SIB1）和小区特异性参考信号（the Cell-specific Reference

Signal，CRS）。

ABS 模式有 40ms 的周期性［对于频分双工（FDD）］，包括含 8ms 间隔的物理混合自动重传请求指示信道（Physical Hybrid Automatic Repeat Request Indicator Channel，PHICH）传输和含 10ms 间隔的 PSS/SSS/MIB/SIB1[3]。在 ABS 模式，一些子帧定义为 ABS，剩余的子帧定义为正常子帧。

15.3.1　限制测量

当 ABS 由网络配置和利用，由于子帧的配置变化，在受干扰小区指定区域的 UE 将遇到更严重的 SINR 波动。这种高 SINR 波动对 UE 测量有着显著影响，因为根据测量的子帧是否是 ABS 或正常子帧，会获取完全不同的测量结果。与影响测量有关的 UE 行为包括无线链路监测（Radio Link Monitoring，RLM）、无线资源管理（RRM）和信道质量指示符（CQI）测量。为了减小 SINR 在 UE 测量期间的波动，网络可以配置 UE 在某些子帧范围内限制测量，例如，仅是 ABS 或者仅是普通子帧。对于受限制测量，当使用时域 ICIC 时，测量资源限制模式将由信令方式通知给 UE。不同的测量资源的限制模式配置给以下各测量情况：

1）服务小区的 RLM 和 RRM 测量；

2）相邻小区的无线资源管理测量；

3）服务小区的 CQI 测量。

对于服务小区的 RLM 和 RRM 受限制测量，网络可以配置给 UE 测量资源限制模式。然后，UE 使用由服务小区的 RLM 和 RRM 测量指示的资源限制进行受限制的测量。

对于相邻小区的 RRM 受限制测量，网络可以配置给 UE 与由服务小区的 RLM 和 RRM 测量指示的资源限制进行受限制的测量不同的测量资源限制模式。然后，UE 使用由此限制模式指示的资源限制进行受限制的测量。在 R10 版本中，受限的测量只适用于频率内测量。此限制的引入，是基于频率间受限制测量没有比频率内的受限制测量更关键的假设。这是因为对于频率间受限制测量有一种变通方法，比如 UE 按顺序执行频率间受限测量，切换到频率间其他目标小区，然后在新的服务频率上执行频率内受限测量。

当测量资源限制模式为相邻小区的 RRM 测量配置时，还提供给 UE 列表中的每个相邻小区的物理小区标识。UE 仅对列表上的小区应用受限测量，并且对其他小区应用正常测量。这种选择性的受限制测量手段仅适用于相邻小区的受限制测量，对它来说干扰是必须考虑的问题。图 15.8 说明了选择性测量小区列表的限制。

对于受限制 CQI 测量，网络可以给 UE 配置两个资源限制模式。然后 UE 发送两套 CQI 报告，每一个对应于由相应的资源限制模式获得的受限制测量结果。

例如，一个模式被配置给 ABS 而另一个则是配置给正常的子帧。利用这种配置，两套 CQI 报告可以协助 eNB 确定 UE 是否需要在 ABS 上或正常子帧上进行调度。

另一个例子是把一种模式配置给最强产生强干扰的小区的 ABS，把另一个模式配

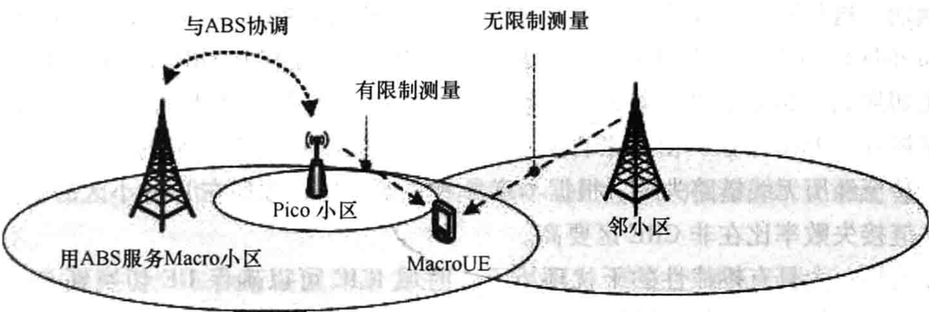


图 15.8　选择性的 RRM 测量资源限制

置给第二强的产生强干扰的小区。这种配置情况在多个产生强干扰的小区在不同的子帧上拥有各自的 ABS 时使用。在这种情况下，通过联合考虑 CQI 报告，这两套 CQI 报告可以协助 eNB 确定到 UE 的传输可支持的调制编码方式（Modulation and Coding Scheme，MCS）。

表 15.2 总结了不同类型的受限制测量配置。

表 15.2　受限制测量配置

目　标	可 用 小 区	配 置 内 容
RLM 和 RRM	服务小区	一个限制模式
RRM	相邻小区	有小区列表的一个限制模式
CQI	服务小区	两个限制模式

15.3.2　Macro-Pico 小区场景

当 Pico 小区以为宏小区分流为目的部署在相同的频率时，理想的是当必要时流量负载从宏小区转移到 Pico 小区。为了加快卸载，即使宏小区为 Pico 小区附近的宏 UE 提供更好的无线条件，这些 UE 最好转移到 Pico 小区上并且从 Pico 小区获得服务。这种分流技术就是所谓的 Pico 小区的小区范围扩展（Cell Range Expansion，CRE），因为 Pico 小区的覆盖范围无形中扩大了。图 15.9 说明了在 Macro-Pico 小区场景中的 CRE。

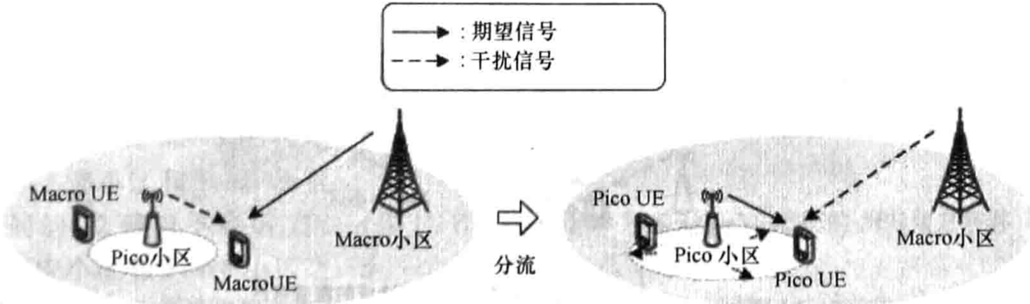


图 15.9　以分流为目的的 Pico 小区的小区范围扩展

然而，这种卸载面临着一个很大的挑战，在 CRE 区的 UE 高度易受干扰因为 UE 邻近 Pico 小区的边界。由于 Pico 小区的强干扰，当宏 UE 定位在 CRE 区域中时，可能不会满足切换到 Pico 小区的测量要求，因此，到 Pico 小区的切换无法启动。即使 UE 成功地切换到了 Pico 小区，由于来自宏小区的强干扰，Pico 小区 UE 的 QoS 迟早会严重退化，甚至经历无线链路失败。根据本章参考文献［4］，预期在 Pico 小区的 CRE 区域中无线链接失败率比在非 CRE 区要高。

在这样一个具有挑战性的干扰环境下，时域 ICIC 可以确保 UE 切换到 Pico 小区，并可以确保切换之后的信号质量。UE 和网络的预期行为如下：

1）步骤 1：宏小区检测小区内可能会超过其能力的流量需求，并决定是否需要通过应用时域 ICIC 分流一部分到 Pico 小区。

2）步骤 2：宏小区通过使用 ABS 使一些子帧静默，为在 Pico 小区 CRE 区域中的 UE 提供低干扰子帧。

3）步骤 3：通告 Pico 小区在宏蜂窝中配置的 ABS 的存在。

4）步骤 4：宏小区使用受限的测量来配置宏 UE，推动 Pico 小区的切换。

5）步骤 5：宏 UE 对 Pico 小区进行限制测量。限制测量其结果是，宏 UE 可以触发一个切换到 Pico 小区的测量报告。

6）步骤 6：当接收到测量报告时，宏小区开始启动切换到 Pico 小区的过程。在 CRE 区域的 UE 可以成功地切换到 Pico 小区，并且由 Pico 小区提供服务。

7）步骤 7：在切换过程中或者之后，Pico 小区使用限制测量配置 UE。

8）步骤 8：UE 可以为 Pico 小区的 RLM 和 RRM 测量使用限制测量，使用这种方法可以避免无线链路失败并在测量报告中给出 Pico 小区的测量评级。

15.3.3 Macro-Femto 小区场景

当宏小区成为不是 Femto 小区的 CSG 成员 UE 的干扰源时，Femto 小区部署在同一频率。如果宏 UE 过于接近 Femto 小区，UE 会被其干扰。由于快速增长的干扰等级，UE 会遭受到 QoS 的严重退化，甚至经历无线链路失败。这种情况如图 15.10 所示。

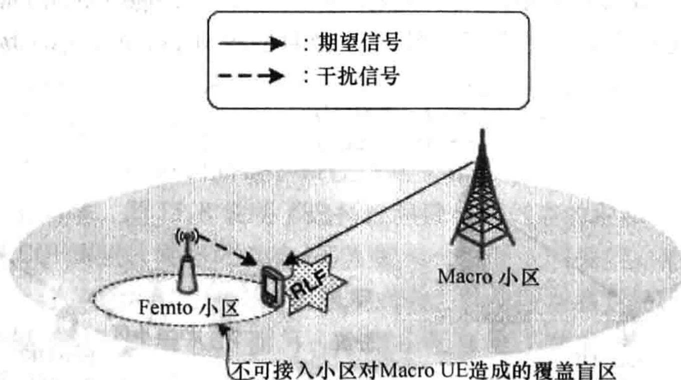


图 15.10 不允许接入造成的 Femto 小区干扰

在这种场景中，时域 ICIC 可以帮助 UE 减轻来自不可接入 Femto 小区的干扰。UE 和网络的预期行为如下：

1）步骤 1：Femto 小区通过使用 ABS 使一些子帧静默，提供低干扰子帧给 Femto 小区附近的宏 UE。

2）步骤 2：宏小区为服务小区的 RLM/RRM/CQI 测量使用限制测量来配置与其相关的 UE。

3）步骤 3：宏 UE 执行限制测量方法。因为 RLM 测量使用低干扰子帧，UE 可以避免无线链路失败。为宏小区的 RRM 测量和 CQI 测量使用限制测量方法可以给出可以接受的结果。

15.3.4　网络配置

由产生强干扰的小区配置的 ABS 信息应该知道受到强干扰的小区，使受到强干扰的小区可以适当配置受到产生强干扰的小区强烈干扰的 UE。

在 Macro-Pico 小区场景中，宏小区决定哪一个子帧配置为 ABS，然后通过 X2 接口的负载信息给 Pico 小区传送 ABS 信息，如图 15.11 所示。ABS 的信息表明，ABS 模式用比特映射图谱显示。点阵图每个位表示相应的子帧是 ABS 还是正常子帧。

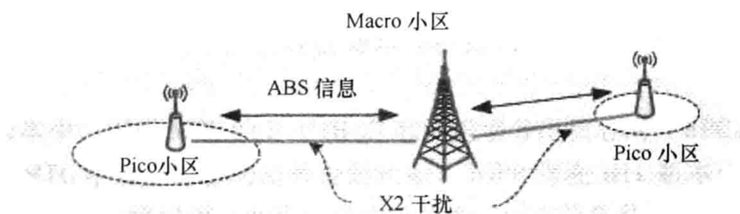


图 15.11　Macro eNB 到 Pico eNB 的 ABS 信息转移

为了评价之前的 ABS 资源是否适合受到强干扰的小区，产生强干扰的小区可以要求受到强干扰的小区提供 ABS 资源的使用状态。ABS 资源的使用状态表示资源块的使用百分比。ABS 资源的使用状态通过一个资源状态更新消息传输。

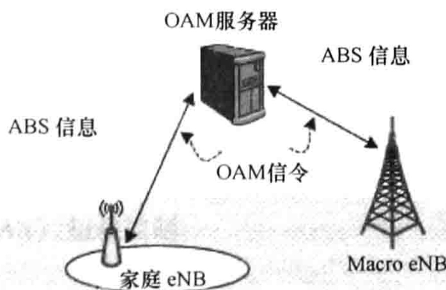


图 15.12　Macro eNB 和 Femto eNB 之间的 ABS 信息转移

在 Femto-Macro 小区场景中，宏小区和 Femto 小区之间的 X2 接口不可用。因此，宏小区和 Femto 小区之间的 ABS 信息交换依赖于操作、管理和维护（OAM）信令，如图 15.12 所示。即 OAM 服务器使用合适 ABS 配置 HeNB，并且为宏 eNB 提供 ABS 信息。

参 考 文 献

1. Racz, A., Reider, N., and Fodor, G. (2008) On the impact of inter-cell interference in LTE. *IEEE Globecom*, **27** (1), 5436–5441.
2. Fujitsu, "Enhancing Cell-Edge Performance with PDCCH ICIC", www.fujitsu.com, accessed on 14 March 2012.
3. NTT DoCoMo, "R1-105724: Views on eICIC Schemes for Rel-10", 3GPP TSG RAN WG1, meeting 62bis, Xian, China, October 2010.
4. Qualcomm Inc., "R1-100700: Interference Conditions in Heterogeneous Networks", 3GPP TSG RAN WG1, meeting 59bis, Valencia, Spain, January 2010.

第 16 章　机器模式通信

第三代合作伙伴计划（3GPP）系统包括 GSM/EDGE 无线接入网（GSM/EDGE 无线接入网，GERAN）、全球陆地无线接入网（UTRAN）和演进的通用陆地无线接入网络（E-UTRAN），它们支持机器模式通信（MTC），也叫作机器对机器（M2M）。3GPP 系统提供外网的 MTC 和 MTC 设备（即一个支持 MTC 的 UE）之间端到端的通信服务。

一些 MTC 的使用实例可以用本章参考文献［1，2］中内容来鉴别。应用实例的其中一个就是智能电表。电表装置能够监测电功率、煤气、供水、采暖以报告能源消耗的信息给服务提供商。电表装置也可以自动报告信息给中央节点，或者当需要报告时，中央节点可以轮询电表装置。报告的信息可以用于提供能源的使用效率信息。

另一个应用实例是道路监控。例如，当汽车事故发生时，汽车紧急呼叫服务能够自动启动，给急救中心报告事故发生的位置。报告的信息可以用于紧急援助。用于道路安全的 MTC 使用实例包括智能交通管理、自动售票和车队管理等等。

消费性电子产品和设备，例如电子阅读、数码相机、个人电脑以及导航系统，也可以成为潜在的应用实例之一。这些设备可以使用 MTC 升级固件或上传和下载网上内容。

在 R10 版本中，用于 MTC 的 E-UTRAN 和演进型分组核心网（EPC）已经改进了，它使用了一种 MTC 中规定的新的超载控制机制。3GPP 将在 R11 版本以及以后版本继续升级系统。在将来，将提出一些优化和改进技术，以支持各种 MTC 应用。

16.1　MTC 的超载控制

对于 R10 版本和 R11 版本中的 E-UTRAN，MTC 的超载控制是 3GPP 关注的主要议题。3GPP 改进了超载控制的机制，这种机制只有当大量的 MTC 设备同时进入网络时才可能启动。这种改进源于现存的超载控制机制。

对于 E-UTRAN，MTC 的超载控制机制如下介绍：

1）R10 版本的核心网超载控制；

2）R11 版本的无线接入网（RAN）超载控制。

16.1.1　R8 版本的超载控制

一般要求网络应该提供超载控制机制，以避免和处理普通 UE 的超载问题，例如，当大量 UE 突然访问网络时。为了避免核心网出现超载情况，当大量的 UE 和非接入层（NAS）请求到来时，允许移动管理实体（MME）拒绝 NAS 请求。但是，这种拒绝不可能阻止演进型 NodeB（eNB）把从 UE 接收到的大量 NAS 请求转移到超负

载的 MME。

因此，为了保护核心网出现大量的 NAS 请求，MME 也可以通过 MME 和 eNB 之间的 S1 接口上的 S1 接口应用协议（S1AP）来控制超载，这些都可以在 R8 版本中找到。下面是用于 MME 控制超载的 S1AP 程序，这些程序在本章参考文献［3］有所规定：超载开始程序和超载中止程序。

MME 通过给 eNB 发送一条超载开始信息以启动超载开始程序，如图 16.1 所描绘。超载开始信息告诉了 eNB 应该怎么处理超载控制，这些行为包含在信息中的Overload Action 中。OverloadAction 指示 eNB 应该采取下列哪种行为：

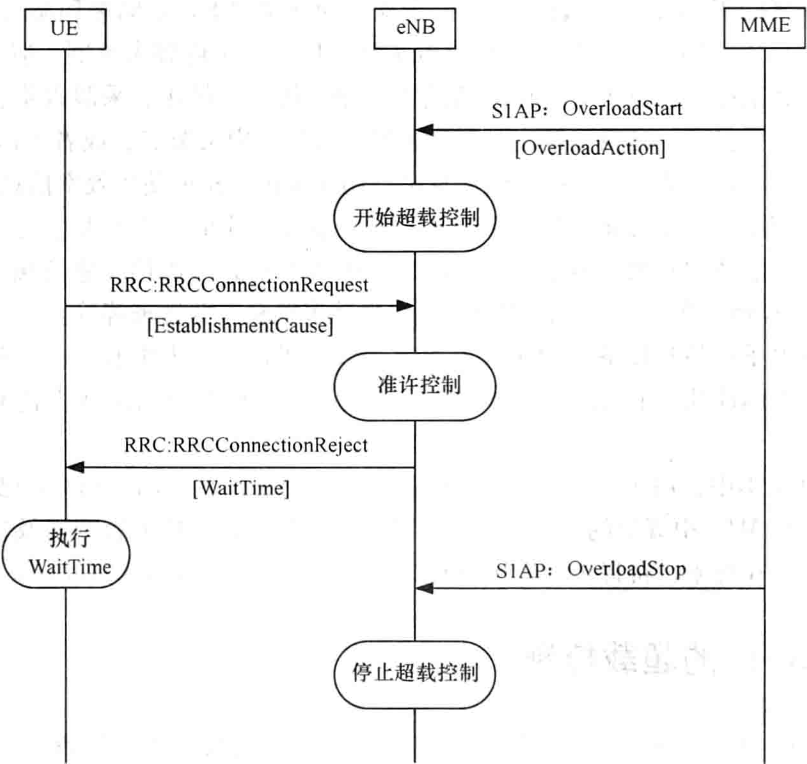


图 16.1　R8 版本中 MME 超载控制的一个例子

由© 2011 3GPP 许可发布。3GPP™ TSs 和 TRs 是 ARIB、ATIS、CCSA、ETSI、TTA 和 TTC 的财产，并共同拥有版权

1）拒绝所有不紧急的移动初始数据转移的无线资源控制（RRC）连接建立；

2）拒绝所有发信令的 RRC 连接建立；

3）只允许紧急会议和移动终止服务的 RRC 连接建立；

4）只允许高优先级会议和移动终止服务的 RRC 连接建立；

在接收到来自于 MME 的超载开始信息后，eNB 应该准备将超载开始信息规定的 OverloadAction 应用到从 UE 接收到的 RRC 连接请求。当 UE 发送一条 RRCConnection Request信息时，在信息中 UE 包含了 EstablishmentCause，如3.4 节所述。其中 Establish-

mentCause 指示下列几种情况：紧急、高优先访问、移动终止访问、移动初始信号以及移动初始数据。

eNB 通过 EstablishmentCause 给出的指示将 OverloadAction 应用到对应的 RRCConnectionRequest 信息中。例如，当 OverloadAction 指示，只有当紧急会议和移动终止服务时 RRC 连接建立才应该被允许，通过发送 RRCConnectionReject 信息给 UE，eNB 拒绝所有 RRCConnectionRequest 信息，这些信息包含一条 EstablishmentCause 而不是紧急和移动终止访问，

如果 eNB 拒绝 RRC 连接建立，那么 eNB 不会发送初始 UE 信息给 MME。因此，通过使用超载控制程序，MME 能过滤出从 eNB 发送到 MME 的初始 UE 信息。

eNB 在 RRCConnectionReject 信息里包含了 WaitTime。当 UE 收到 WaitTime，UE 启动一个计时器。WaitTime 可设置成 1 ~6s。当计时器开始时，除了用于紧急呼叫的 RRC 连接建立，UE 将考虑小区拒绝服务，正如本章参考文献［4］中规定的那样。

除了 MME 控制核心网超载外，eNB 也能使用 RRC 层的访问种类受限或媒体接入控制（MAC）层的随机访问退避机制。访问种类受限在 3. 4. 1 节进行了解释，而随机访问退避机制在 6. 9 节进行了解释。

16. 1. 2　R10 版本中的核心网超载控制

当支持 LTE 的 MTC 设备在市场上流行时，大量的 MTC 设备将会在网络进行操作。如果很多的 MTC 设备在短时间内尝试连接相同的 MME，那么 MME 将会严重超载。特别是，我们可以想象，例如，当一个网络由于过度负载而崩溃时，大量的 MTC 设备将失去对该网络的连接，结果，这个 MTC 设备就会在短时间内尝试连接邻近网络。在这种情况下，邻近网络也会很快超载。为了保护网络不出这种情况，3GPP 在 R10 版本中改进了用于 MTC 的 MME 超载控制。

在 R10 版本中，延时容忍访问被定义为 RRCConnectionRequest 信息中用来有选择地控制 MTC 设备超载的新 EstablishmentCause。这个新 EstablishmentCause 是为那些使用延时容忍应用的 MTC 设备准备的 。例如，智能测量应用会在给 MTC 服务器发送报告之前收到长延时。因此，网络需要除去测量应用的优先级访问。这样的 MTC 设备在 NAS 层中的装置属性被配置为 NAS 信令低优先级。在参考文献［5］中规定的 NAS 信令低优先级指示可以映射到 R10 版本中 EstablishmentCause 的延时容忍访问。

当 eNB 将超载控制应用到延时容忍访问时，eNB 通过发一条 RRCConnectionReject 信息来拒绝 RRC 连接请求，或者通过发送一条 RRCConnectionRelease 信息来释放现存的 RRC 连接。在这种情况下，eNB 可能在信息中包含 ExtendedWaitTime。

UE 的 NAS 层使用这个 ExtendedWaitTime 阻止 NAS 请求开始建立 RRC 连接。因为这是用于延时容忍 MTC 应用，ExtendedWaitTime 可设置到 30min。例如，将允许电表设备延迟 30min 之后将电表信息报告给中央节点。

图 16. 2 解释了延时容忍访问中由于超载控制而拒绝 RRC 连接建立的一个实例。当超载出现时，MME 可以除去 MTC 设备的优先级访问，这些设备都被配置为 NAS 信令

低优先级，然后发送一条超载开始信息，这条信息中包含了用来拒绝指示延时容忍业务的 OverloadAction。当 OverloadAction 指示拒绝延时容忍业务时，eNB 开始拒绝所有 RRC 连接建立，通过将 EstablishmentCause 设置为延时容忍访问。

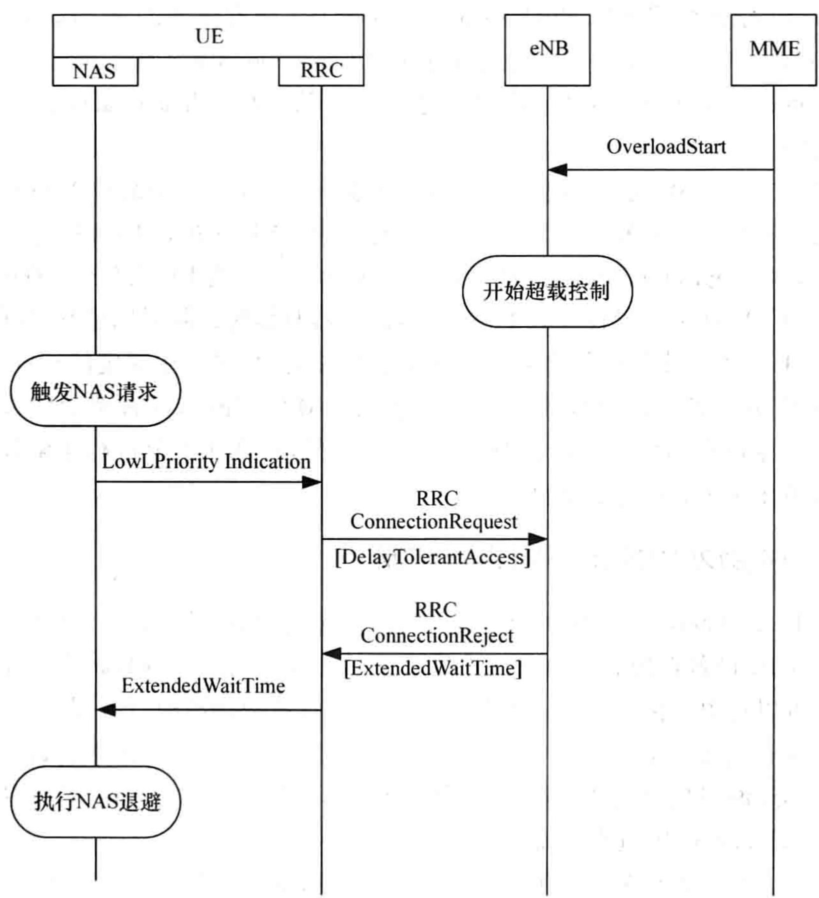


图 16.2　延时容忍访问中超载控制的 RRCConnectionReject 消息的一个实例

在这期间，当 NAS 请求信息在 UE 的 NAS 层触发时，NAS 层将启动拥有 NAS 信息低优先级指示的 RRC 连接建立。这个指示会触发 RRC 连接建立过程，通过将 EstablishmentCause 设置为延时容忍访问。

在超载控制开始后，eNB 通过发送一条带有 ExtendedWaitTime 的 RRCConnectionReject 信息来拒绝所有 RRC 连接建立。当 UE 支持这种延时容忍访问特性时，UE 的 RRC 层将转发收到的 ExtendedWaitTime 给 UE 的 NAS 层。

值得注意的是，UE 的 RRC 层不要求记住在 RRCConnectionRequest 信息中哪个 EstablishmentCause被设置。因此，在收到 ExtendedWaitTime 后，即使 RRC 连接建立使用了的原因不是延时容忍访问，UE 的 RRC 层将转发收到的 ExtendedWaitTime 给 UE 的

NAS 层。当收到 RRC 层的 ExtendedWaitTime 时，NAS 层可以使用 ExtendedWaitTime 阻止 NAS 请求。

eNB 也不要记住在 RRC 连接建立时由 UE 发送的 EstablishmentCause。因此，eNB 不能通过切换程序转移 EstablishmentCause 到另一个 eNB。

eNB 可能链接到多个 MME。在这种情况下，当超载正发生在一个特定的 MME 时，且 UE 请求一个 RRC 连接建立和 S1 连接时，eNB 需要检查 UE 希望通过 S1 接口被连接到哪个 MME。但是，由于 UE 在 RRCConnectionSetupComplete 信息（见 3.4 节）包含了 MME 选择的信息，eNB 仅需要在 UE 进入到 RRC_CONNTECTED 后检查关于 MME 选择的信息。因此，在这种情况，eNB 不可以使用 RRCConnectionReject 信息。相反，eNB 可以在 RRC 连接已经建立后，使用 RRCConnectionRelease 信息释放 RRC 连接。因此，ExtendedWaitTime 同样包含在 RRCConnectionRelease 信息中。图 16.3 展示了用于延时容忍的超载控制的 RRC 连接释放的一个实例。

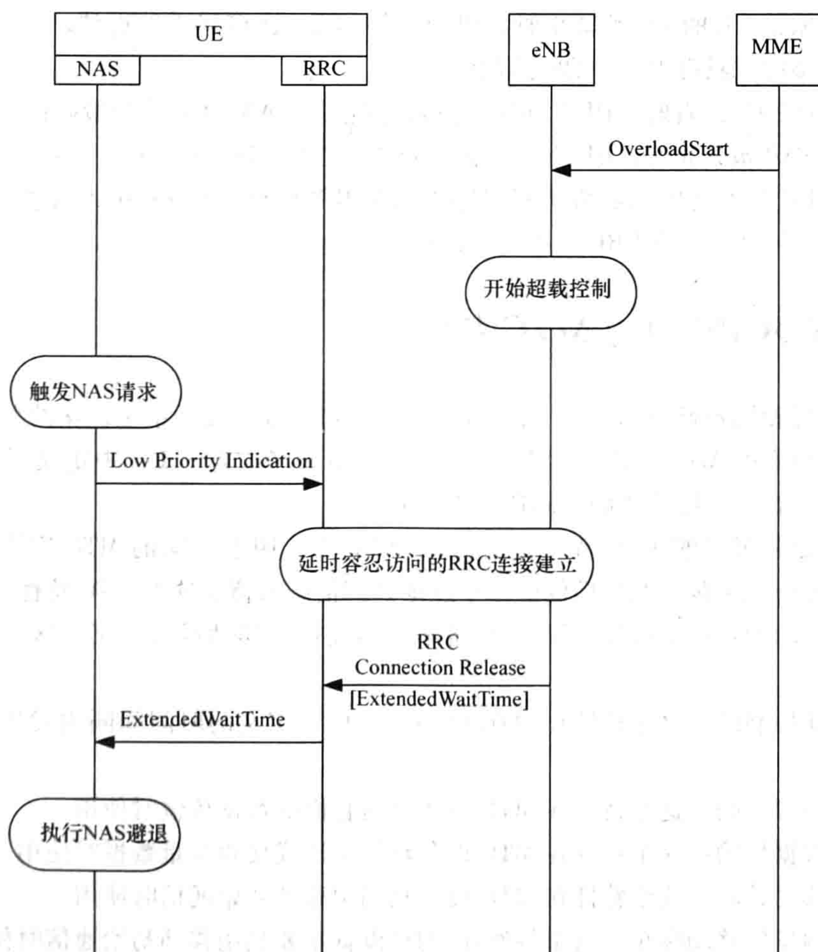


图 16.3 延时容忍访问中超载控制的 RRCConnectionRelease 消息的一个实例

在 R10 版本中的超载控制目标是为了发送初始 UE 信息给超载 MME。因此，在 RRCConnectionRelease 信息中 ExtendedWaitTime 的使用最可能在 RRC 连接的初期。

16.1.3 R11 版本中的 RAN 超载控制

超载可能出现在 eNB 中，例如，由于许多 MTC 设备在较短时间发出了大量的 RRC 连接请求。为了保护 eNB 出现超载这种情况，控制 RRC 连接建立的请求的数量对于 eNB 来说是有利的。出于这种目的，GERAN 在 R10 版本引进了扩展访问限制（Extended Access Barring，EAB）机制。E-UTRAN 和 UTRAN 同样在 R11 版本中引进了 EAB，基于本章参考文献［6］中的 EAB 要求。

eNB 通过广播控制信道（BCCH）上的系统信息广播 EAB 信息。EAB 信息包括一个位图。位图中的每一个比特都对应从 0~9 的接入类型（AC）中的一个，并指示对应的 AC 成员是否被禁止。所有的 UE 都是这 10 个 AC 中一个 AC 的成员。当在 EAB 信息中指示分派给 UE 的 AC 被禁止时，UE 不用为 RRC 连接建立发送请求。因此，eNB 可以禁止许多要求具有 10% 间隔的请求。

当 UE 为 EAB 配置时，UE 为 RRC 连接建立应用 EAB。UE 使用最新的 EAB 信息。当 UE 由于 EAB 被禁止时，UE 将一直被禁止直到系统信息的位元映射被更新。当 UE 被禁止时，UE 将不会启动随机访问程序以携带 RRCConnectionRequest 信息。当 UE 不被 EAB 禁止时，UE 继续 RRC 连接建立过程。

16.2 在 3GPP 中的 MTC 特性

无法通过相同特性对 MTC 应用进行分类。换句话说，关于系统优化的单项选择不可能应用于所有的 MTC 应用。因此，3GPP 在本章参考文献［1］中定义了一些 MTC 特性，以对潜在的系统优化的不同选择进行分类。

下面的服务限定的 MTC 特性被定义在 3GPP 中，用于不同的 MTC 应用。我们期望，3GPP 将在 R11 版本及以后的版本中逐渐找到措施来覆盖这些 MTC 特性。

1）低移动性：这个特性在 MTC 设备不移动或很少移动或只在某个区域内移动时使用。

2）时间控制的：这个特性在 MTC 应用默许仅在定义的时间间隔内发送或接收数据时使用。

3）时间容忍的：这个特性在 MTC 设备延迟它们的数据传输时使用。

4）小数据传输：这个特性在 MTC 设备默许发送或接收少量数据时使用。

5）仅移动始呼：这个特性在 MTC 设备只利用移动初始通信时使用。

6）不频发的移动终止：这个特性在 MTC 设备主要利用移动初始通信时使用。

7）MTC 监测：这个特性在监测关于 MTC 设备的事件时使用。

8）优先级警报：这个特性在 MTC 设备为要求立即关注的事产生优先级警报时使用。

9）安全连接：这个特性在需要在 MTC 设备和 MTC 服务器之间建立一个安全连接时使用。

10）位置规定触发：这个特性在基于 MTC 设备处在的位置启动触发时使用。

11）不频发的传输：这个特性在 MTC 设备期望发送或接收稀少数据时使用。

12）基于 MTC 特性的群组：

① 基于策略的群组：这个特性在网络运营商想为 MTC 群组成员加强联合的 QoS 时使用。

② 基于地址的群组：这个特性在网络运营商想最优化信息容量时使用。主要是为了防止许多 MTC 设备收到同样的信息的情况。

参考文献

1. 3GPP Technical Specification 22.368, "Service requirements for Machine-Type Communications (MTC); Stage 1 (Release 11)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
2. 3GPP Technical Report 37.868, "Study on RAN Improvements for Machine-type Communications (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
3. 3GPP Technical Specification 36.413, "S1 Application Protocol (S1AP) (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
4. 3GPP Technical Specification 36.331, "Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
5. 3GPP Technical Specification 24.301, "Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3 (Release 10)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.
6. 3GPP Technical Specification 22.011, "Service accessibility (Release 11)", www.3gpp.org, accessed on 14 March 2012.

缩 略 语

英文缩写	英文全称	中文全称
1G	First Generation	第一代
2G	Second Generation	第二代
3G	Third Generation	第三代
3GPP	Third Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2	第三代合作伙伴计划 2
4G	Fourth Generation	第四代
ABS	Almost Blank Subframe	几乎空白子帧
ACB	Access Class Barring	接入类型受限
ACK	Acknowledge	确认
ACs	Access Classes	接入类型
ACTS	Advanced Communications Technology and Services	先进通信技术与服务
AF	Amplify-and-Forward	放大转发
AFN	Absolute Frame Number	绝对帧编号
A-GPS	Assisted GPS	辅助 GPS
AGW	Access Gateway	接入网关
AIPN	All-IP Network	全 IP 网络
AKA	Authentication and Key Agreement	认证与密钥协商
AM	Acknowledgement Mode	确认模式
AMBR	Aggregated Maximum Bit Rate	聚合最大比特速率
AMC	Adaptive Modulation and Coding	自适应调制与编码
AMD	Acknowledged Mode Data	确认模式数据
AMPS	Advanced Mobile Phone System	高级移动电话系统
AMS	Advanced Mobile Station	增强型移动台
AMR	Adaptive Multi Rate	自适应多速率
AP	Access Point	（无线）访问接入点
APA	Adaptive Power Allocation	自适应功率分配
ARP	Allocation and Retention Priority	分配和保留优先级
ARQ	Automatic Repeat-Request	自动重传请求
AS	Application Server	应用服务器

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
AS	Access Stratum	接入层
ATDMA	Advanced Time Division Mobile Access	先进时分移动接入
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions	电信行业解决方案联盟
ATM	Asynchronous Transfer Mode	异步传输模式
AVC	Advanced Video Coding	高级视频编码
AWGN	Additive White Gaussian Noise	加性高斯白噪声
B3G	Beyond3G	超3G
BB	Base Band	基带
BBU	BaseBand Unit	基带单元
BCH	Broadcast Channel	广播信道
BCCH	Broadcast Control CHannel	广播控制信道
BE	Best Effort	尽力而为
BER	Bit Error Rate	误比特率
BM-SC	Broadcast-Multicast Service Center	广播多播服务中心
BPSK	Binary Phase Shift Keying	二进制移相键控
BS	Base Station	基站
BSC	Base Station Controller	基站控制器
BSR	Buffer Status Report	缓冲区状态报告
BSS	Base Station Subsystem	基站子系统
BTS	Base Transceiver Station	基站收发台
BWA	Broadband Wireless Access	宽带无线接入
CA	Carrier Aggregation	载波聚合
CAC	Call Admission Control	呼叫接纳控制
CAPEX	CAPital Expenditure	设备投资支出
CB	Code Block	码块
CBC	Cell Broadcast Center	小区广播中心
CBE	Cell Broadcast Entity	小区广播实体
CBS	Cell Broadcast Service	小区广播服务
CC	Component Carrier	分量载波
CCC	Cognitive Component Carrier	认知分量载波
CCCH	Common Control Channel	公共控制信道
CCI	Co-Channel Interference	共信道干扰

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
CCE	Control Channel Element	控制信道单元
CCO	Cell Change Order	小区改变命令
CCSA	China Communications Standardization Association	中国通信标准化协会
CDD	Cyclic Delay Diversity	循环延迟分集
CDF	Cumulative Density Function	累积密度函数
CDM	Code Division Multiplexing	码分复用
CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000	码分多址 2000
CFI	Control Format Indicator	控制格式指示
CFN	Connection Frame Number	连接帧编号
CIR	Carrier-to-Interference power Ratio	载波干扰功率比
CJP	Centralized Joint Processing	集中联合处理
CLA	Clustered Linear Array	簇线性阵列
CLO	Cross-Layer Optimization	跨层优化
CM	Connection Management	连接管理
CMAS	Commercial Mobile Alert Service	商业移动报警服务
CMC	Connection Mobility Control	连接移动性控制
CN	Core Network	核心网
CoMP	Coordinated MultiPoint transmission or reception	协同多点传输或接收
CP	Cyclic Prefix	循环前缀
CPICH	Common Pilot Channel	公共导频信道
CPG	Conference Preparatory Group	大会筹备组
CPM	Conference Preparatory Meeting	大会筹备会议
CPRI	Common Public Radio Interface	公共无线链路接口规范
CQI	Channel Quality Indicator	信道质量指示符
CR	Cognitive Radio	认知无线电
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
CRE	Cell Range Expansion	小区范围扩展
CRNC	Controlling Radio Network Controller	控制 RNC
CRNTI	Cell Radio Network Temporary Identifier	小区无线网络临时标识
CRS	Cell-specific Reference Signal	小区特异性参考信号
CS	Circuit Switching	电路交换

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
CSFB	Circuit-Switched FallBack	电路交换回退
CSG	Closed Subscriber Group	闭合用户组
CSI	Channel State Information	信道状态信息
CSIR	CSI at the Receiver	接收端信道状态信息
CSI-RS	Channel State Information Reference Signal	信道状态信息参考信号
CSIT	Channel State Information at the Transmitter	发射端信道状态信息
CT	Core Network and Terminals	核心网及终端
CU	Central Unit	中央单元
CW	Code Word	码字
D2D	Device-to-Device	设备到设备
DAB	Digital Audio Broadcast	数字音频广播
dB	decibel	分贝
DB	Digital Broadcasting	数字广播
DC	Direct Current	直流
DCCH	Dedicated Control CHannel	专用控制信道
DCFB	Direct Channel Feedback	直接信道反馈
DCH	Dedicated Channel	专用传输信道
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications	数字增强无线通信
DFE	Decision Feedback Equalization	判决反馈均衡
DF	Decode-and-Forward	解码转发
DFT	Discrete Fourier Transform	离散傅里叶变换
DJP	Decentralized Joint Processing	分散联合处理
DL	Downlink	下行链路
DLS	Direct Link Setup	直达链路建立
DL-SCH	Downlink Shared CHannel	下行共享信道
DMT	Diversity-Multiplexing-Tradeoff	分集复用折中
DNC	Diversity Network Codes	分集网络编码
DPCCH	Dedicated Physical Control CHannel	专用物理控制信道
DPCH	Dedicated Physical CHannel	专用物理信道
DPDCH	Dedicated Physical Data CHannel	专用物理数据信道
DRA	Dynamic Resource Allocation	动态资源分配
DRB	Data Radio Bearer	数据无线承载

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
DRNC	Drift RNC	漂移 RNC
DRS	Dedicated Reference Signal	专用参考信号
DRX	Discontinuous Reception	不连续接收
DSCP	DiffServ Code Point	差分服务编码点
DSL	Digital Subscriber Line	数字用户线
DSP	Digital Signal Processor	数字信号处理器
DTCH	Dedicated Traffic CHannel	专用业务信道
DTX	Discontinuous Transmission	不连续发射
DVB	Digital Video Broadcast	数字视频广播
DVRB	Distributed VRB	分散式虚拟资源块
DwPTS	Downlink Pilot TimeSlot	下行导频时隙
E3G	Evolved 3G	演进型 3G
eBM-SC	evolved Broadcast Multicast Service Center	演进型广播和多播业务中心
ECC	Electronic Communications Committee	电子通讯委员会
ECM	EPS Connection Management	EPS 连接管理
EAB	Extended Access Barring	扩展访问限制
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access	增强分布式信道接入
E-DCH	Enhanced Dedicated CHannel	增强专用信道
EDF	Exponential Delay Fairness	指数延迟公平
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	增强数据率 GSM 演进
E-DPCCH	E-DCH Dedicated Physical Control CHannel	E-DCH 专用物理控制信道
E-DPDCH	E-DCH Dedicated Physical Data CHannel	E-DCH 专用物理数据信道
E-HICH	E-DCH Hybrid Indicator CHannel	E-DCH 混合指示信道
EIR	Equipment Identity Register	设备识别寄存器
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power	有效全向辐射功率
eGW	evolved Gateway	演进型网关
EM	Electro Magnetic	电磁的
EMC	Electro Magnetic Compatibility	电磁兼容性
eNB	eNodeB	演进型 NodeB
EMS	Element Management System	网元管理系统
eNode B	（eNB）Evolved Node B	演进型 NodeB
EPC	Evolved Packet Core	演进型分组核心网

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
ePDG	evolved Packet Data Gateway	演进型分组数据网关
EPRE	Energy Per RE	每 RE 能量
EPS	Evolved Packet System	演进型分组系统
ERO	European Radio Communication Office	欧洲无线电通信办公室
ErtPS	Extended Real-Time Polling Service	扩展的实时轮询业务
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准化协会
ETWS	Earthquake and Tsunami Warning System	地震海啸警报系统
EU	European Union	欧盟
EUL	Enhanced Uplink	增强上行
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access	演进的通用陆地无线接入
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network	演进的通用陆地无线接入网络
EV-DO	Evolution-Data Only cdma2000 1x	面向数据优化的演进
EVM	Error Vector Magnitude	差错矢量幅度
FACH	Forward Access CHannel	前向接入信道
FBSS	Fast Base-Station Switching	快速基站切换
FCC	Federal Communications Commission	美国联邦通讯委员会
FCH	Frame Control Header (for WiMAX)	帧控制头
FDD	Frequency Division Duplex	频分双工
FDE	Frequency Domain Equalization	频域均衡
FDM	Frequency Division Multiplexing	频分复用
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
FEC	Forward Error Correction	前向纠错编码
FER	Frame Error Rate	误帧率
FFR	Fractional Frequency Reuse	部分频率复用
FFT	Fast Fourier Transform	快速傅里叶变换
FH	Frequency Hopping	跳频
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunication System	未来公众陆地移动通信系统
FIFO	First Input First Output	先入先出
FM	Frequency Management	频率管理
FMC	Fixed Mobile Convergence	固定与移动融合
FS	Frame Structure	帧结构
FSA	Fixed Spectrum Assignment	固定频谱分配

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
FTP	File Transfer Protocol	文件传送协议
FUE	Femto-UE	家庭基站终端
FuTURE	Future Technology for Universal Radio Environment	未来通用无线环境研究
GBF	Group Beamforming	分组波束赋形
GBN	Go-Back-N	退 N 步
GBR	Guaranteed Bit Rate	保证比特率
GCS	Global Core Specification	全球核心规范
GEK	Global Encoding Kernel	全球编码内核
GERAN	GSM/EDGE RAN	GSM/EDGE 无线接入网
GGSN	Gateway GPRS Support Node	网关 GPRS 支撑节点
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
GP	Guard Period	保护间隔
GPRS	General Packet Radio Service	通用分组无线业务
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
GSM	Global System for Mobile Communications	全球移动通信系统
GT	Game Theory	博弈论
GTP	GPRS Tunneling Protocol	GPRS 隧道协议
GTP-U	GPRS Tunneling Protocol for User Plane	用户平面的 GPRS 隧道协议
GUTI	Globally Unique Temporary Identity	全球唯一临时标识
GW	Gateway	网关
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	混合自动重传请求
H-BS	Home Base Station	家庭基站
HeNB	Home eNB	家庭增强型 Node B
HetNet	Heterogeneous Network	异构网路
HFN	Hyper-Frame Number	超帧号
HHO	Hard Handover	硬切换
HHI	Heinrich Hertz Institute	海因里希赫兹研究所
HI	HARQ Indicator HARQ	指示
HII	High Interference Indicator	高干扰指示
HK	Han-Kobayashi	汉小林编码
HNB	Home NB	家庭 Node B
HLR	Home Location Register	归属位置寄存器

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
HOL	Head-of-line	队头
HRPD	High Rate Packet Data	高速分组数据
HSA	Hierarchical Spectrum Access	分层频谱接入
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access	高速下行分组接入
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared CHannel	高速下行共享信道
HSPA	High-Speed Packet Access	高速分组接入
HS-SCCH	High-Speed Shared Control Channel	高速共享控制信道
HSS	Home Subscriber Server	归属用户服务器
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access	高速上行分组接入
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol	超文本传输协议
HUE	Home User Equipment	家庭用户设备
IAI	Inter-Antenna Interference	天线间干扰
IASA	Inter Access System Anchor	跨接入系统锚点
ICI	Inter-Carrier Interference	载波间干扰
ICI	Inter-Cell Interference	小区间干扰
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination	小区间干扰协调
ICT	Information and Communication Technologies	信息和通信技术
ID	Identity	标识
IDMA	Interleaved Division Multiple Access	交织多址
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	电气和电子工程师学会
IEG	Independent Evaluation Group	独立评估小组
IETF	Internet Engineering Task Force	因特网工程任务组
IF	Intermediate Frequency	中频
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	快速傅立叶逆变换
IMEI	International Mobile Equipment Identity	国际移动电话设备识别码
IMS	IP Multimedia Subsystem	IP 多媒体子系统
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	国际移动用户身份码
IMT	International Mobile Telecommunications	国际移动通信
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000	国际移动通信 2000
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications Advanced	高级国际移动通信
IP	Internet Protocol	互联网协议
IPR	Intelligence Property Rights	知识产权

(续)

英文缩写	英文全称	中文全称
IPv4	Internet Protocol version 4	因特网协议第 4 版本
IPv6	Internet Protocol version 6	因特网协议第 6 版本
IR	Incremental Redundancy	增量元余
IRC	Interference Rejection Combining	干扰抑制合并
ISDN	Integrated Services Digital Network	综合业务数字网
ISI	Inter-Symbol Interference	符号间干扰
ISP	Internet Service Provider	因特网服务提供商
ISR	Idle mode Signaling Reduction	空闲模式信令缩减
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
ITU-R	International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector	国际电信联盟 - 无线电通信部门
Iu	The interface used for communication between the RNC and the core network	RNC 和核心网之间的通信接口
lub	The interface used for communication between the Node B and the RNC	RNC 和 NodeB 之间的通信接口
lur	The interface used for communication between different RNC	RNC 之间的通信接口
I-WLAN	Intelligent WLAN	智能 WLAN
IWS	Interworking System	互通系统
JD	Joint Detection	联合检测
JP	Joint Processing	联合处理
JQS	Joint Queue Scheduler	联合队列调度器
JUS	Joint User Scheduling	联合用户调度
KPAS	Korean Public Alert System	韩国公共警报系统
L1	Layer 1	层 1
L2	Layer 2	层 2
L3	Layer 3	层 3
LA	Local Area	局域
LA	Location Area	位置区
LA	Link Adaptation	链路自适应
LAI	Location Area Identity	位置区域标识符
LAN	Local Area Network	局域网
LB	Load Balancing	负载均衡

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
LB	Long Block	长块
LCG	Logical Channel Group	逻辑信道组
LDPC	Low-Density Parity-Check	低密度奇偶校验
LMMSE	Linear Minimum Mean Square Error	线性最小均方误差
LoS	Line of Sight	视距
LSF	Last Segment Flag	最后分段标志
LTE	Long Term Evolution	长期演进
LTE-A	LTE-Advanced	先进的长期演进
LTE-Rel-8	LTE Release 8	LTE 版本 8
LTE-Rel-10	LTE Release 10	LTE 版本 10
LVRB	Localized VRB	集中式虚拟资源块
M2M	Machine-to-Machine	机器对机器
MAC	Medium Access Control	媒体接入控制
MAN	Metropolitan Area Network	城域网
MAP	Map message (for WiMAX)	映射消息
MARC	Multiple Access Relay Channel	多址接入中继信道
MBA	Master of Business Administration	工商管理学硕士
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service	多媒体广播多播服务
MB-OFDM	Multi-Band OFDM	多频带 OFDM
MBR	Maximum Bit Rate	最大比特率
MBSFN	MBMS over Single Frequency Networks	MBMS 单频网
MBSN	Maximum Block Sequence Number	最大数据块顺序号
MBWA	Mobile Broadband Wireless Access	移动宽带无线接入
MCC	Mobile Competence Centre	移动能力中心
MCC	Mobile Country Code	移动区域码
MC-CDMA	Multi-Carrier CDMA	多载被 CDMA
MCCH	Multicast Control CHannel	多播控制信道
MCE	Multi-cell/multicast Coordination Entity	多小区/多播协调实体
MC-HSDPA	Multi-Carrier HSDPA	多载波 HSDPA
MC-HSPA	Multi-Carrier HSPA	多载波 HSPA
MCH	Multicast Channel	多播信道
MCI	Maximum Carrier to Interference	最大载干比

(续)

英文缩写	英文全称	中文全称
MCS	Modulation and Coding Scheme	调制编码方式
MC-WCDMA	Multi-Carrier WCDMA	多载波 WCDMA
MDHO	Macro-Diversity Handover	宏分集切换
MDNC	Maximum Diversity Network Codes	最大分集网络编码
MDS	Maximum-Distance Separable	最大距离可分
MDT	Minimization of Driving Test	最小化路测
MET	Multi-user Eigenmode Transmission	多用户本征传输
MG	Media Gateway	媒体网关
MI	Mutual Information	互信息
MIB	Master Information Block	主信息块
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	多输入多输出
MISO	Multiple-Input Single-Output	多输入单输出
mITF	mobile Information Technology Forum	移动信息技术论坛
MME	Mobile Management Entity	移动管理实体
MNC	Mobile Network Code	移动网络码
MOCN	Multi-Operator Core Network	多运营商间核心网共享
MOP	Maximum Output Power	最大输出功率
MOS	Mean Opinion Score	平均意见得分
MPR	Maximum Power Reduction	最大功率降低
MRC	Maximum Ratio Combining	最大比合并
MS	Modulation Scheme	调制方式
MSC	Mobile Switching Center	移动交换中心
MSCH	MBMS Scheduling CHannel	MBMS 调度信道
MSE	Mean Square Error	均方误差
MTC	Machine Type Communication	机器模式通信
MTCH	Multicast Traffic CHannel	多播业务信道
MU	Multi-User	多用户
MUE	Macro UE	宏用户
MUI	Multiple User Interference	多用户干扰
MU-MIMO	Multiple User MIMO	多用户 MIMO
MVD	Majority Vote Detection	多数投票检测算法
NACK	Negative Acknowledge	否定应答

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
NACC	Network Assisted Cell Change	网络协助小区改变
NAS	Non-Access Stratum	非接入层
NC	Network Coding	网络编码
NC-OFDMA	Non-Contiguous OFDMA	非连续 OFDMA
NDI	New Data Indicator	新数据指示符
NGMC	Next Generation Mobile Communications	下一代移动通信
NGMN	Next Generation Mobile Network	下一代移动网络
NGN	Next Generation Network	下一代网络
NMS	Network Management System	网络管理系统
NLoS	Non Line of Sight	非视距
NMT	Nordic Mobile Telephone	北欧移动电话
NodeB	NodeB	节点 B（UMTS 基站）
nrtPS	Non-Real-Time Polling Service	非实时轮询业务
NRT	Non-Real-Time	非实时
OAM	Operation Administration and Maintenance	操作、管理和维护
OAM&P	Operation, Administration, Maintenance and Provisioning	操作、管理、维护和配置
OCA	Opportunistic Carrier Aggregation	机会载波聚合
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	正交频分多址接入
OI	Overload Indicator	过载指示器
O&M	Operation and Management	操作和管理
OMA	Open Mobile Alliance	开放移动联盟
OMC	Operation Management Center	操作维护中心
OP	Organizational Partners	合作伙伴
OPEX	OPerating EXpenditures	运营成本
OQAM	Offset QAM	位移 QAM
OSA	Open Spectrum Access	开放式频谱接入
OSI	Open Systems Interconnection	开放系统互连
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor	正交可变扩频因子
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio	峰值-平均功率比
PAR	Project Authorization Request	项目授权请求
PARC	Per-Antenna Rate Control	每天线速率控制

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
PBCH	Physical Broadcast CHannel	物理广播信道
PBR	Prioritized Bit Rate	优先比特速率
PC	Power Control	功率控制
PCC	Policy and Charging Control	政策与计费控制
PCCC	Parallel Concatenated Convolutional Code	并行级联卷积编码
PCCH	Paging Control CHannel	寻呼控制信道
P-CCPCH	Primary Common Control Physical CHannel	主公共控制物理信道
PCell	Primary Cell	主服务小区
PCEP	Policy and Charging Enforcement Point	政策与计费强制点
PCFICH	Physical Control Format Indicator CHannel	物理控制格式指示信道
PCG	Project Co-ordination Group	项目协调组
PCH	Paging CHannel	寻呼信道
PCI	Physical Cell Identity	物理小区标识
PCRF	Policy and Charging Rules Function	政策与计费规则功能
PDB	Packet Delay Budget	数据包延时预算
PDC	Personal Digital Cellular	个人数字蜂窝
PDCCH	Physical Downlink Control CHannel	物理下行控制信道
PDCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚协议
PDG	Packet Data Gateway	分组数据网关
PDN	Packet Data Network	分组数据网络
PDP	Packet Data Protocol	分组数据协议
PDSCH	Physical Downlink Shared CHannel	物理下行共享信道
PDU	Packet Data Unit	分组数据单元
PELR	Packet Error Loss Rate	数据包差错丢失率
PF	Proportional Fair	比例公平
PF	Paging frame	寻呼无线帧
P-GW	PDN Gateway	分组数据网络网关
PH	Power Headroom	功率余量
PHICH	Physical Hybrid Automatic Repeat Request Indicator CHannel	物理混合自动重传请求指示信道
PHR	Power Headroom Report	功率余量报告
PHY	Physical	物理层
PL	Path Loss	路径损耗

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
PLMN	Public Lands Mobile Network	公众陆地移动通信网
PMCH	Physical Multicast CHannel	物理多播信道
PMI	Precoding Matrix Indicator	预编码矩阵指示符
PN	Pseudo Noise	伪随机噪声
PNC	Physical Network Coding	物理网络编码
PO	Paging occasions	寻呼发生期
PoC	PTT over Cellular	蜂窝 PTT（业务）
PPF	Predictive Proportional Fair	预测比例公平
PRACH	Physical Random Access CHannel	物理随机接入信道
PRB	Physical Resource Block	物理资源块
PRMA	Packet Reservation Multiple Access	分组预约多址接入
P-RNTI	Paging-Radio Network Temporary Identity	寻呼无线网络临时标识
PRU	Physical Resource Unit	物理资源单元
PS	Packet Switching	分组交换
PSC	Primary Synchronization Code	主同步码
PSCH	Primary Synchronization CHannel	主同步信道
PSD	Phase Shift Diversity	相位偏移分集
PSE	Peak Spectral Efficiency	峰值频谱效率
PSK	Phase-Shift Keying	相移键控
PSS	PSTN/ISDN Simulation Services	PSTN/ISDN 模拟业务
PSTN	Public Switched Telephone Network	公共交换电话网
PTA	Project Team A	项目组 A
P-RNTI	Paging-Radio Network Temporary Identifier	寻呼无线网络临时标识
p-t-m	point-to-multi-point	点对多点
p-t-p	point-to-point	点对点
PTMP	Point-To-Multiple-Point	点到多点
PTT	Push-To-Talk	一键通
PVS	Precoding Vector Switching	预编码向量切换
PUCCH	Physical Uplink Control CHannel	物理上行控制信道
PU2RC	Per-User Unitary Rate Control	每用户酉速率控制
PUSC	Partially Used Subcarriers (for WiMAX)	部分子载波使用模式
PUSCH	Physical Uplink Shared CHannel	物理上行共享信道

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
PRS	Pseudo Random Sequence	伪随机序列
PSS	Primary Synchronization Signal	主同步信号
PWS	Public Warning System	公共警报系统
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交幅度调制
QCI	QoS Class Identifier	QoS 类别标识
QoE	Quality of Experience	体验质量
QoS	Quality of Service	服务质量
QPP	Quadratic Permutation Polynomial	二次置换多项式
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	四相移相键控、正交相移键控
R99	Release 1999	1999 年版本
R4	Release 4	第 4 版本
R5	Release 5	第 5 版本
R6	Release 6	第 6 版本
R7	Release 7	第 7 版本
R8	Release 8	第 8 版本
R9	Release 9	第 9 版本
R10	Release 10	第 10 版本
RA	Radiocommunication Assembly	无线电通信协会
RA	Random Access	随机接入
RAB	Radio Access Bearer	无线接入承载
RAC	Radio Admission Control	无线接纳控制
RACH	Random Access CHannel	随机接入信道
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RANAP	Radio Access Network Application Protocol	无线接入网络应用层协议
RA-RNTI	Random Access RNTI	随机接入 RNTI
RAT	Radio Access Technology	无线接入技术
RB	Resource Block	资源块
RB	Radio Bearer	无线承载
RBC	Radio Bearer control	无线承载控制
RBS	Radio Bearer Service	无线承载业务
RCC	Relay Coherent Combining	中继相干合成
RE	Resource Element	资源单元

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
REG	RE Group	RE 组
ReS	Relay Selection	中继选择
RF	Radio Frequency	射频
RF	Re-segmentation Flag	重分段标志位
RI	Rank Indicator	秩指示
RIT	Radio Interface Technology	无线电接口技术
RIV	Resource Indicator Value	资源指示值
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
RMa	Rural Macrocell	农村宏蜂窝
RMS	Root-Mean-Square	方均根
RN	Relay Node	中继节点
RNC	Radio Network Controller	无线网络控制器
RNL	Radio Network Layer	无线网络层
RNTI	Radio Network Temporary Identifier	无线网络临时标识
RNTP	Relative Narrowband Transmit Power	相对窄带传输功率
RoF	Radio over Fiber	光载无线通信
ROHC	Robust Header Compression	鲁棒性报头压缩
RR	Radio Regulations	无线电规则
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
RRH	Remote Radio Heads	远端射频头
RRM	Radio Resource Management	无线资源管理
RRU	Radio Remote Unit	无线远端单元
RS	Reference Signal	参考信号
RSC	Recursive Systematic Convolutional	递归系统卷积码
RSCP	Received Signal Code Power	接收信号码功率
RSD	Relay Selection Diversity	中继选择分集
RSN	Retransmission Sequence Number	重传序列号
RSRP	RS Received Power	RS 接收功率
RSRQ	RS Received Quality	RS 接收质量
RSSI	Received Signal Strength Indication	接收机信号场强指示
RT	Real-Time	实时
rtPS	Real-Time Polling Service	实时轮询业务

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
RTT	Radio Transmission Technology	无线传输技术
RTT	Round Trip Time	环回时间
RTWP	Received Total Wideband Power	接收宽带总功率
RV	Redundancy Version	冗余版本
Rx	Receive	接收
RXD	Receive Diversity	接收分集
S1	The interface between eNodeB and EPC	eNodeB 与 EPC 之间的通信接口
S1AP	S1 Application Protocol	S1 接口应用协议
SA	Services and System Aspects	业务与系统方面
SAE	System Architecture Evolution	系统架构演进
SAO	Spectrum Access Opportunities	频率接入机会
SAP	Service Access Point	服务接入点
SAR	Segmentation and Re-assembly	分割和拆卸
SAW	Stop-And-Wait	停止等待
SB	Short Block	短块
SB	Scheduling Block	调度块
SB	Score Based	基于打分
SBc	Server-Based computing	基于服务器计算
SBc-AP	SBc Application Part	基于服务器计算应用部分
SBCH	Secondary BCH	辅广播信道
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical CHannel	辅公共控制物理信道
SCell	Secondary Cells	辅服务小区
SC-FDE	Single Carrier/Frequency Domain Equalization	单载波和频域均衡
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access	单载波-频分多址接入
SCH	Synchronization CHannel	同步信道
SCM	Spatial Channel Model	空间信道模型
SCME	Spatial Channel Model Extended	空间信道模型扩展
SCTP	Stream Control Transmission Protocol	流控制传输协议
SDF	Service Data Flow	业务数据流
SDM	Space Division Multiplexing	空分复用
SDMA	Space Division Multiple Access	空分多址接入
SDOs	Standards Development Organizations	标准开发组织

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
SDP	SemiDefinite Programming	半定规划
SDR	Software Defined Radio	软件无线电
SDU	Service Data Unit	业务数据单元
SF	Shadow Fading	阴影衰落
SFBC	Space Frequency Block Code	空频块码
SFN	Single Frequency Network	单频网
SFR	Soft Frequency Reuse	软频率复用
SGSN	Serving GPRS Support Node	业务 GPRS 支撑节点
S-GW	Serving Gateway	服务网关
SI	Study Item	研究阶段
SI-RNTI	System Information-Radio Network Temporary Identity	系统信息无线网络临时标识
SIB	System Information Block	系统信息块
SIC	Successive Interference Cancellation	串行干扰消除
SID	Silence Descriptor	静寂描述
SIM	GSM Subscriber Identity Module	GSM 用户识别模块
SIMO	Single Input Multiple Output	单输入多输出
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio	信号干扰加噪声比（信干噪比）
SIP	Session Initiation Protocol	会话发起协议
SISO	Single Input Single Output	单输入单输出
SLNR	Signal to Leakage and Noise Ratio	信号泄漏噪声比
SMS	Short Message Service	短消息服务
SN	Sequence Number	序列号
SNIR	Signal to Noise plus Interference Ratio	信号噪声加干扰比
SNR	Signal to Noise Ratio	信噪比
SO	Segment Offset	分段偏移
SOCP	Second Order Cone Programming	二阶锥规划
SOHO	Soft Handover	软切换
SON	Self-Organized Network	自组织网络
SPS	Semi-Persistent Scheduling	半持续调度
SR	Scheduling Request	调度请求
SRB	Signalling Radio Bearer	信令无线承载
SRIT	Set of Radio Interface Technologies	无线电接口技术集

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
SRNC	Serving RNC	服务 RNC
SRNS	Serving Radio Network Subsystem	服务无线网络子系统
SRS	Sounding Reference Signal	探测参考信号
SRUS	Separated Random User Scheduling	分离随机用户调度
SRVCC	Single Radio Voice Call Continuity	双模单待无线语音呼叫连续性
SSC	Selection and Soft Combining	选择与软合并
SSC	Secondary Synchronization Code	辅同步码
SSCH	Secondary Synchronization CHannel	辅同步信道
SSS	Secondary Synchronization Signal	辅同步信号
STC	Space-Time Code	空时编码
STBC	Space Time Block Code	空时分组码
S-TMSI	SAE-Temporary Mobile Subscriber Identity	SAE 的临时移动用户识别
STTC	Space-Time Trellis Codes	空时格码
STTD	Space Time Transmit Diversity	空时发送分集
SU-MIMO	Single User MIMO	单用户 MIMO
SU	Single-User	单用户
SVC	Scalable Video Coding	可伸缩视频编码
SVD	Singular Value Decomposition	奇异值分解
TA	Timing Advance	时间提前量
TAs	Tracking Areas	跟踪区域
TAC	Tracking Area Code	跟踪区域码
TACS	Total Access Communications System	全接入通信系统
TAI	Tracking Area Indicator	跟踪区域标识
TAS	Telephony Application Server	电话应用服务器
TASB	Traffic-Aware Score Based	基于流量感知打分
TAU	Tracking Area Update	跟踪区更新
TB	Transport Block	传输块
TBS	Transport Block Size	块传输块大小
TC	Technical Committee	技术委员会
TCP/IP	Transport Control Protocol/Internet Protocol	传送控制协议/因特网协议
TD-CDMA	Time Division CDMA	时分 CDMA
TDD	Time Division Duplex	时分双工

（续）

英文缩写	英文全称	中文全称
TDLS	Tunneled Direct Link Setup	隧道直达链接设置
TDM	Time Division Multiplexing	时分复用
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA	时分同步码分多址
TEID	Tunneling Endpoint ID	隧道端点标识
TETRA	Terrestrial Trunked Radio	陆地集群无线电
TF	Transport Format	传输格式
TFI	Transport Format Indicator	传输格式指示符
TFT	Traffic Flow Template	业务流模板
TIA	Telecommunication Industry Association	电信行业协会
TLI	Traffic Load Indicator	流量负载指示
TM	Transport Mode	透明模式
TMD	Transparent Mode Data	透明模式数据
TMO	Trunked Mode Operation	集群工作方式
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity	临时移动用户身份
TNL	Transport Network Layer	传输网络层
TP	Throughput	吞吐量
TPC	Transmit Power Control	发送功率控制
TR	Technical Report	技术报告
TrCH	Transport CHannel	传输信道
TS	Technical Specification	技术规范
TSG	Technical Specification Group	技术规范组
TSG RAN	Technical Specification Group Radio Access Network	无线接入网技术规范组
TSN	Transmission Sequence Number	发送序列号
TSTD	Time Switched Transmit Diversity	时间切换传输分集
TTA	Telecommunications Technology Association	电信技术协会
TTC	Telecommunications Technology Committee	电信技术委员会
TTCN	Tree and Tabular Combined Notation	树状图与表格相结合的注释
TTI	Transmission Time Interval	传输时间间隔
TUB	Technical University of Berlin	柏林技术大学
TV	Television	电视
Tx	Transmisson	发送

(续)

英文缩写	英文全称	中文全称
UCI	Uplink Control Information	上行链路控制信息
UE	User Equipment	用户设备
UEPS	Urgency and Efficiency based Packet Scheduler	基于紧急性和效率的包调度器
UG	User Grouping	用户分组
UGS	Unsolicited Grant Service	自动授权业务
UL	Uplink	上行链路
ULA	Uniform Linear Array	均匀线性阵列
UL-SCH	Uplink Shared CHannel	上行共享信道
UM	Un-acknowledgement Mode	非确认模式
UMa	Urban Macrocell	城市宏蜂窝
UMB	Ultra Mobile Broadband	超移动宽带
UMi	Urban Microcell	城市微蜂窝
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	通用移动通信系统
UND	Unacknowledged Mode Data	无确认模式下数据
UP	User Plane	用户面
UPE	User Plane Entity	用户面实体
UpPTS	Uplink Pilot Timeslot	上行导频时隙
UPS	Utility Predictive Scheduler	效用预测调度器
URA	UTRAN Registration Area	UTRAN 注册区域
USB	Universal Serial Bus	通用串行总线
USIM	Universal Subscriber Identity Module	通用用户识别模块
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access	全球陆地无线接入
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network	全球陆地无线接入网
Uu	The interface used for communication between the Node B and the UE	NodeB 与 UE 的通信接口
UWB	Ultra Wideband	超宽带
VAA	Virtual Antenna Array	虚拟阵列天线
VCO	Voltage Controlled Oscillator	压控振荡器
VLAN	Virtual Local Area Network	虚拟局域网
VLR	Visitor Location Register	访问位置寄存器
VoIP	Voice over IP	IP 语音
VoLGA	Voice over LTE via Generic Access	LTE 基础上的语音通用接入
VRB	Virtual Resource Block	虚拟资源块

(续)

英文缩写	英文全称	中文全称
WAP	Wireless Application Protocol	无线应用协议
WAN	Wide Area Network	广域网
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	宽带码分多址接入
WG	Working Group	工作组
WI	Work Item	工作阶段
Wi-Fi	Wireless Fidelity	无线高保真
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	全球微波互联接入
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网
WP	Working Party	工作组
WPAN	Wireless Personal Area Networks	无线个人局域网
WRC	World Radiocommunication Conference	世界无线电通信大会
WWRF	World Wireless Research Forum	世界无线研究论坛
WWW	World Wide Web	万维网
x2	The interface between eNode Bs	eNode B 之间的通信接口
ZF	Zero Forcing	迫零
ZP	Zero Padding	补零

国际视野 科技前沿

国际信息工程先进技术译丛

《LTE及LTE-Advanced无线协议》
《人体区域通信——信道建模，通信系统及EMC》
《IPv6部署和管理》
《虚拟网络——下一代互联网的多元化方法》
《下一代融合网络理论与实践》
《认知视角下的无线传感器网络》
《移动云计算：无线、移动及社交网络中分布式资源的开发利用》
《Android系统安全与攻防》
《内容分发网络》
《计算机网络仿真OPNET实用指南》
《移动无线信道》（原书第2版）
《LTE-Advanced：面向IMT-Advanced的3GPP解决方案》
《声学成像技术及工程应用》
《认知无线电通信与组网：原理与应用》
《LTE/SAE网络部署实用指南》
《网络性能分析原理与应用》
《云连接与嵌入式传感系统》
《IP地址管理原理与实践》
《自组织网络：GSM，UMTS和LTE的自规划、自优化和自愈合》
《实现吉比特传输的60GHz无线通信技术》
《LTE自组织网络（SON）：高效的网络管理自动化》
《UMTS中的LTE：向LTE-Advanced演进》（原书第2版）
《无线传感器及执行器网络》
《UMTS中的WCDMA - HSPA演进及LTE》（原书第5版）
《认知无线电网络》
《网络融合 ——服务、应用、传输和运营支撑》
《UMTS中的LTE:基于OFDMA和SC-FDMA的无线接入》
《高性能微处理器电路设计》
《吉规模集成电路互连工艺及设计》
《高级电子封装》（原书第2版）
《基于4G系统的移动服务技术》
《移动无线传感器网 ——技术、应用和发展方向》
《UMTS蜂窝系统的Q0S与Q0E管理》
《UMTS-HSDPA系统的TCP性能》
《基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行》
《未来UMTS的体系结构与业务平台：全IP的3GCDMA网络》
《环境网络：支持下一代无线业务的多域协同网络》
《基于蜂窝系统的IMS一融合电信领域的V0IP演进》
《蜂窝网络高级规划与优化 2G/2.5G/3G/ ——向4G的演进》
《微电子技术原理、设计与应用》
《多电压CMOS电路设计》
《P2P系统及其应用》
《IPTV与网络视频：拓展广播电视的应用范围》
《下一代无线系统与网络》





机械工业出版社微信服务号

WILEY

上架指导 工业技术／通信工程



ISBN 978-7-111-48428-8 定价：99.00元